Neue Forschungs- und Entwicklungsrichtungen im Fernsehen

Von Prof. Dr. phil. *Fritz Schröter*

I. Einleitung

Die wachsende Verbreitung von Fernsehgeräten in Deutschland kommt der Entwicklung meines Themas zustatten. Viele unter Ihnen sind mit der Bedienung des Empfangsapparates vertraut. Sie haben beobachtet, wie ein schnell über den Leuchtschirm der Braun'schen Röhre bewegter Lichtpunkt das Fernsehbild „schreibt". Ein scharf gebündelter Elektronenstrahl erregt das Leuchten; durch vom Sender mitübertragene Impulse, die magnetische Ablenkfelder in Takt halten, wird die Bewegung des Lichtpunktes in horizontalen, dicht aneinander anschließenden Zeilen, synchron mit einer kongruenten Abtastbewegung des Elektronenstrahls der Bildgeberröhre in der Fernsehkamera, zwangsläufig gesteuert, und so entsteht das bekannte „Zeilenraster", das wir auf dem Leuchtschirm aus der Nähe deutlich wahrnehmen.

Dieses Zeilenraster wiederholt sich 25mal in der Sekunde, jedoch so, daß während $^1/_{50}$ sek. über die ganze Bildhöhe hinweg nur die ungeradzahligen Zeilen, Nr. 1, 3, 5, 7... geschrieben und im nächsten Intervall von $^1/_{50}$ sek. die Lücken durch die geradzahligen, Nr. 2, 4, 6, 8 .... ausgefüllt werden. Dieses „Zeilensprungverfahren", das ich 1930 in Verbindung mit Leuchtstoffschirmen von passender Nachleuchtdauer bei der Braun'schen Röhre eingeführt habe und das heute in dieser Form von allen Ländern, die Fernsehen betreiben, angewendet wird, bezweckt die Erzielung eines genügend hellen und trotzdem flimmerfreien Empfangsbildes, ohne daß die *scheinbar* verdoppelte Frequenz der visuellen Darbietung des Bildfeldes den elektrischen Frequenzbandaufwand der Übertragung im Äther ebenfalls verdoppelt. Dabei wird die physiologische Tatsache ausgenutzt, daß bei periodischer Erzeugung leuchtender Flächen die zur Vermeidung von Flimmern erforderliche Mindestzahl der Einzelaufhellungen je sek. mit dem Logarithmus der Leuchtdichte zunimmt. Das Zeilensprungverfahren ist also ein – freilich sehr wirksamer – Augenbetrug. Von seinen Mängeln sei hier abgesehen.

Während der schnell bewegte Elektronenstrahl auf dem Leuchtschirm des Bildempfängers Zeilen schreibt, wird seine Stromstärke und mit dieser die Helligkeit des Lichtpunktes vom Fernsehsignal des Senders trägheitslos moduliert. Wir erhalten so die Wiedergabe der Verteilung von Hell und Dunkel im abgetasteten, zu übertragenden Gesichtsfeld der Sendekamera, deren Bildgeberröhre jene Verteilung bei der kongruenten Zeilenbewegung ihres Abtast-Elektronenstrahls durch lichtelektrischen Umsatz in das Nacheinander des hochfrequenten Bildsignals überführt. Ist dabei die Frequenz der Wiederholung dieses Zerlegungs- und Übertragungsvorganges – wie beim Kino – hoch genug, so verschmilzt das Auge die periodischen Aufhellungen des Empfangsleuchtschirmes vermittels der Trägheit der Netzhautreaktion (Visionspersistenz) zu einem stetigen und flimmerfreien Bilde, das alle Bewegungen durch den stroboskopischen Effekt kontinuierlich wiedergibt.

Diesen Bedingungen entsprechend hat das Sendesignal eine sehr große Frequenzbandbreite. Deren Grenzen sind unten durch $f = O$, d. h. zeitlich unveränderliche Helligkeit im Zuge der Abtastung, oben durch ein f_{max} oder $\triangle f$, das dem schnellsten zu übertragenden Hell-Dunkel-Wechsel entspricht, eindeutig gegeben. Ein scharfes Bild erfordert einige Hunderttausend Bildpunkte, die 25mal je sek. zu wiederholen sind. Nehmen wir diese kleinsten visuell auflösbaren „Flächenelemente“ der Einfachheit halber als quadratisch an, wobei die Zeilenbreite (Spurbreite des Schreiblichtpunktes) gleich der Seitenlänge des Quadrats ist, so ergibt sich die Frequenz des Fernsehsignals zu

$$\triangle f = R \cdot \frac{n k^2 F}{2} \cdot \frac{1-p}{1-m},$$

wenn R einen aus der Zerlegungstheorie abgeleiteten, zwischen etwa 0,7 und 1 liegenden Faktor (Kell-Faktor), n die Wiederholungsfrequenz des ganzen Bildes, k die Zeilenzahl, F (Formatfaktor) das Verhältnis Breite: Höhe des Zeilenrasters bedeuten. Der Zeitverlust, der durch die Rückführung des abtastenden und des schreibenden Elektronenstrahls vom Ende der durchlaufenen Zeile zum Anfang der nächsten bedingt ist ($m \ll 1$), bzw. für die Rückkehr in der Vertikalen, vom unteren zum oberen Bildrande ($p \ll 1$), wird durch den 2. Bruch berücksichtigt, worin p und m die prozentischen Anteile von $^1/n$ (Bilddauer) bzw. $^1/nk$ (Zeilendauer) ausdrücken. Normalerweise hat m die Größenordnung 15 %, p die Größenordnung 5 %, so daß $\triangle f$ durch diese Einflüsse um rd. 12 % wächst.

Mit solchen Werten ergibt sich für F = 4:3 und für die in Westeuropa vorherrschende Normung von k = 625 Bildzeilen, n = 25 vollen Bildern/sek. und Zeilensprungabtastung eine Breite des modulierenden Frequenzbandes:

$$\triangle f \simeq 5 \text{ MHz}.$$

In diesem vom Standpunkt vielseitigster Ausnutzung des Äthers (Wellenbandes) aus betrachtet außerordentlich großen Aufwand an Bandbreite liegt das Kernproblem des Fernsehens. Nur im Bereich der Ultrakurzwellen (UKW), des Meter- und Dezimeter-Gebietes, war dafür der nötige Frequenzraum vorhanden. Nur diese Wellen eignen sich auch dank ihrer Ausbreitungseigenschaften und ihrer Modulierbarkeit mit Bändern der angegebenen Breite für die Übertragung eines scharfen und bewegten Bildes.

Die das Maß des derzeitigen technischen Könnens angebende Normung des 625zeiligen Rasters (die ungerade Zahl hängt mit einer bequemen Methode der Steuerung des Zeilensprunges zusammen) erwies sich als durchaus genügend, um bei den beherrschbaren Schirmgrößen der Fernseh-Heimempfänger mit direkter Betrachtung des Bildes (maximal etwa 40 cm Höhe) aus zweckmäßiger Entfernung (2,5 bis 3,5 m) die diskontinuierliche Zeilenstruktur zum Verschwinden zu bringen. Dies entspricht der normalen Sehschärfe, besser gesagt Trennschärfe des menschlichen Auges von 1,5′. Die bei $\triangle f = 5$ MHz erzielte Auflösung ist der eines Heim-Filmprojektors für 16 mm-Schmalfilm gleichwertig, freilich der des Kinobildes von 35 mm-Normalfilm noch erheblich unterlegen. Ob es sinnvoll und möglich ist, im Fernseh-Rundfunk den Qualitätsunterschied aufzuholen, soll hier nicht erörtert werden.

Für die Übertragung stehen heute im UKW-Bereich die beiden Frequenzbänder I, 41 bis 68 MHz, und III, 174 bis 216 MHz, zur Verfügung. Einschließlich des Tonsenders für den akustischen Teil der Fernsehprogramme beträgt die genormte Breite des einzelnen Bild-Ton-Kanals in den Ländern des 625 Zeilen-Standards 7 MHz. Im Band I lassen sich daher nur 3, im Band III nur 6 Kanäle unterbringen. Da diese Zahlen unzulänglich sind, sucht man heute ein weiteres Band im Dezimetergebiet (> 300 MHz) zu erschließen. Dazu sind aber erhebliche Mittel erforderlich; über die Zweckmäßigkeit ihres Einsatzes kann man im Hinblick auf die alsbald zu erörternde Problemstellung der Frequenzbandverengung, einer Aufgabe auf lange Sicht, kaum im Zweifel sein. Dies führt uns unmittelbar zu einer Betrachtung der Verteilungsfrage.

Im Gegensatz zu der überkommenen Vorstellung eines Fernsehens von Punkt zu Punkt (etwa zwischen den beiden Teilnehmern an den Enden

einer Telephoniestrecke) habe ich 1926 in einer Telefunken-Patentanmeldung und ergänzend 1929 in einem Bericht für die Weltingenieurstagung in Tokio Art und Plan eines UKW-Fernseh*rundfunks* innerhalb des Weichbildes großer Städte beschrieben, die einzige a priori als wirtschaftlich aussichtsreich erscheinende Anwendungsform der damals schon physikalisch und im Prinzip gelösten optischen Ergänzung von Hördarbietungen. Die bis zum Horizont der Sendeantenne störfreie Ausbreitung der UKW und die Möglichkeit, diese sehr kurzen Wellen durch Dipolgruppen tragbarer Abmessungen wirksam zu bündeln, ihre Ausbreitung also mehr oder weniger auf nützliche Raumwinkel zu beschränken, gaben die Grundlage für die neue, heute zu so großer industrieller und zivilisatorischer Bedeutung gelangte Errungenschaft der Nachrichtentechnik. Aus jener Zeit datiert auch bereits mein Vorschlag, Fernsehprogramme mittels Richtfunkstrecken auf Dezimeterwellen in die Ferne zu leiten.

In Übereinstimmung mit dieser Konzeption sieht der moderne zwischenstaatliche Verteilungsplan des Fernsehrundfunks ein Netz von UKW-Rundstrahlsendern vor, die an ein System von Programm-Zubringerleitungen angeschlossen und dadurch untereinander vermascht sind. Ein bestimmtes Fernseh-Studio oder eine bestimmte Reportagekamera kann so auf das ganze Sendernetz arbeiten. Für diese Entwicklung hat sich die Dezimeter- oder Zentimeterwellen-Richtfunkstrecke mit frequenzmoduliertem Betrieb (FM) bestens bewährt. Mittels scharf bündelnder Sende- und Empfangsspiegel und als Zwischenverstärker wirkender Relais in durchschnittlich 50 km Abstand werden heute kontinentale Entfernungen überwunden („Eurovision"). Wir sehen da das Fortschreiten einer bewundernswert durchgearbeiteten Technik, die es bereits gestattet, durch Verwendung der jüngsten Neuerungen auf dem Gebiet der Laufzeitröhren als Verstärker und Sender (Scheibentrioden, Travelling Wave-Röhren) ein Fernsehbild auf 1000 km ohne die geringste Qualitätsverminderung zu übertragen und in absehbarer Zeit die gleichzeitige Verbreitung mehrerer Programme im ganzen westeuropäischen Raume zu verwirklichen.

Es entspricht dieser Schau des bisher Geleisteten, daß die Kritik der Fernsehteilnehmer sich vom rein Technischen auf den Unterhaltungswert der Programme und damit auf Fragen verlagert hat, die, abgesehen von der ästhetischen und künstlerischen Komponente, im Grunde organisatorischen und wirtschaftlichen Unzulänglichkeiten des derzeitigen Standes der Versorgung mit Fernsehdarbietungen entspringen. Insoweit kann die Abhilfe nur durch Einsatz großer Geldmittel kommen, die der Technik weitere

Forschungen und Entwicklungen großen Umfanges ermöglichen. Von den hierbei anfallenden Aufgaben und ihrer Begründung im einzelnen soll jetzt die Rede sein.

II. Neue Forschungs- und Entwicklungsrichtungen

Wie bei jeder anwendungsreifen, aber noch jungen Technik, ist es auch beim Fernsehen selbstverständlich, daß laufend an Verbesserungen gearbeitet wird, die sich im Rahmen des bestehenden Übertragungsprinzips und -schemas durchführen lassen und daher die physikalischen Grundlagen nicht antasten. Dazu gehören z. B. die systematische Beseitigung von Störeinflüssen (Nichtlinearitäten von Kennlinien, Laufzeitstreuung des Signals, Echos u. a.), die Verschärfung der Hell-Dunkelgrenzen im Bilde (der Konturen) durch entzerrende Maßnahmen (Zusatz dosierter künstlicher Echos), die Stabilisierung der Zeilensprungsteuerung durch „Schwungrad“-Schaltungen im Empfänger, um den Einfluß der Störschwankungen, die wir gemeinhin als „Rauschen“ bezeichnen, auf den präzisen Zeileneinsatz zu unterbinden, der Übergang zu Allstrom-Geräten, ein immer stärkeres Eindringen der Germanium-Dioden und der Transistoren anstelle von Verstärkerröhren in die Empfangsschaltung, vervollkommnete Röhrentypen im UKW- und im Zwischenfrequenzteil, wo der Transistor vorläufig noch nicht ganz anwendungsreif zu sein scheint, ferner die Entwicklung einer umfassenden Meßtechnik. In zahlreichen Untersuchungen werden wichtige Zusammenhänge zwischen den maßgebenden Parametern der Bildgüte aufgedeckt oder geklärt, Toleranzen festgelegt, Schaltungselemente normiert usw. Die technische Durchbildung der Fernsehstudios stellt allein schon eine außerordentlich vielseitige Aufgabe dar, die immer wieder zu neuen Einfällen anregt und noch auf Jahre hinaus ein reiches Arbeitsfeld, sowohl für den nüchtern planenden und ausfeilenden Ingenieur als auch für den phantasiebegabten Erfinder, darbietet. Und in dem eigentlichen hochfrequenztechnischen Teile – Sender, Antennen, Modulator – ist die Lage ähnlich, wenngleich schon weiter ausgereift und abgeklärt in bezug auf die technischen und wirtschaftlichen Bestwerte.

Diese laufende und sich vermutlich noch auf Jahre hinaus fortsetzende Verbesserungsarbeit sei nur am Rande erwähnt. Sie ist das tägliche Brot einer heute bereits ansehnlichen Zahl von Fachkräften und, im ganzen genommen, eine höchst notwendige und verdienstvolle Tätigkeit. Sicherheit

und Güte des Fernsehempfangs sind in dem Maße, wie mit der Ausdehnung des Verteilungsnetzes die Komplikation des Betriebes und die Gefahr von störenden Zwischenfällen wächst, nur durch diese Tätigkeit gewährleistet.

Was wir hier behandeln wollen, sind Forschungs- und Entwicklungsrichtungen, die das Schaffen *neuer Grundlagen* für die Verteilung von Fernsehprogrammen, neuer Möglichkeiten für die Bereicherung der Sendungen und für deren Vervielfachung zum Ziele haben. Dabei ist es wohlbemerkt ausgeschlossen, die Fülle der Probleme in einem einzigen Vortrage zu erörtern, geschweige denn zu erschöpfen. Nur einige besonders wichtige Aufgaben kann ich hier besprechen. Zum Teil sind deren Lösungen in einem früheren Stadium zu erwarten, wogegen andere noch jahrelanger mühseliger Forschung bedürfen, wie z. B. die speichernde Bildschreibröhre im Heimempfänger. In manchen Fällen wird man auf dem Wege zur „endgültigen“ Lösung – was ist in der Technik endgültig? – mehrere Zwischenstadien akzeptieren, so etwa bei dem sog. „Blockempfang“. Im allgemeinen werden die angestrebten Entwicklungen, besonders diejenigen, die große Investierungen erfordern, in einzelnen auswertbaren Schritten vor sich gehen, weil das Anlagekapital baldige Verzinsung erheischt.

Wir können die zu besprechenden Aufgaben auf verschiedene Motive zurückführen: Wünsche der Fernsehteilnehmer, der Hersteller von Geräten, des Marktes, der lizenzierten Sendegesellschaften, Anregungen von Erfindern, die Voraussicht weitblickender Fachleute und schließlich die in der Natur einer jungen Technik begründete Beharrung im Fortschreiten, bei der jeder Schritt nach vorwärts schon den Keim des nächsten Schrittes in sich trägt[1]. Insofern sich alle diese treibenden Kräfte bereits als richtunggebend für ein technisches Zukunftsprogramm erwiesen haben, sollen dessen interessanteste Punkte nunmehr behandelt werden.

1. Die Programmfrage

Die Darbietungen des Fernsehrundfunks werden auch bei technisch einwandfreier Übertragung vom geschmacklichen und künstlerischen Standpunkt aus in wachsendem Maße kritisiert. Diese Tatsache kann eine Lebensfrage des Gerätemarktes werden. Nun ist sicher, daß ebenso wie seinerzeit

[1] Vom Fernsehen als Instrument politischer Tendenzen soll hier nicht die Rede sein, obwohl zuzugeben ist, daß derartige Beweggründe stark fördernd auf den Ausbau der Verteilungsmittel einzuwirken geeignet sind. Die Träger kultureller Belange äußern sich durch die Vermittlung der Sendegesellschaften.

das Kino auch das Fernsehen als Unterhaltungsinstrument einer Reihe von Jahren bedarf, um die seinen Übertragungsmöglichkeiten gemäßen Formen zu finden und zu entwickeln, abgesehen von der reinen Bildreportage und der Sendung bereits anerkannter Filme (Fernkino). Da es aber auch dann noch schwierig sein wird, die Programmzeiten genügend abwechslungsreich mit der heutigen Einheitssendung der binnenstaatlichen Versorgung zu füllen und der Individualismus der Teilnehmer ohnehin die Möglichkeit der Auswahl eines unter mehreren Programmen herbeiwünscht, muß nunmehr an einen solchen Ausbau der Zuleitungskapazität und der internationalen Netzverflechtung herangegangen werden, daß die Richtfunkstrecken allenthalben zunächst mindestens 3 verschiedene Darbietungen, darunter auch solche ausländischer Herkunft, zu den Rundstrahlsendern heranführen können. Das ist heute dank den Fortschritten der Laufzeitröhren möglich geworden und nur noch eine Kapitalfrage. In den USA können augenblicklich an vielen Orten bereits 5, zeitweise sogar mehr Programme wahlweise empfangen werden, und diese Entwicklung schreitet dort rasch fort. Hier in Europa stehen wir erst am Anfang einer entsprechenden Evolution. Sie muß aber kommen, weil der europäische Teilnehmer im allgemeinen kritischer eingestellt ist als der amerikanische und der Füllstoff des Werbefernsehens bei uns abgelehnt wird. Ohne Zweifel hat die „Eurovision" trotz bisweilen noch auftretender technischer Mängel deshalb so viel Anklang gefunden, weil sie in das Einerlei der nationalen Einheitssendung durch ausländische Darbietungen etwas Abwechslung hineinbrachte.

Neben der Vergrößerung der Fernsehkapazität auf den *internationalen Hauptarterien* der Zuleitung zu den Ausstrahlungszentren muß aber auch an eine stärkere Verzweigung der *nationalen* Richtfunk- oder Breitbandkabelstrecken gedacht werden. Durch Hinzukommen der später zu behandelnden Hilfssender oder „Umsetzer" wird die räumliche Dichte der Bildsender wachsen; und mit ihr das System der programmzuführenden Nebenarterien. Eine wirtschaftliche Fundierung kann dabei allerdings nur erwartet werden, wenn solche Strecken zugleich den Betrieb zahlreicher Telephoniekanäle oder anderer Nachrichtendienste ermöglichen, z. B. neuer elektronischer Formen der Schnelltelegraphie, hochwertiger akustischer Rundfunksendungen, konstanter Steuerfrequenzen für Gleichwellen-Hörrundfunk auf Mittelwellen oder von Fernmeßergebnissen.

Bei diesem Ausbau der Richtfunknetze wird fortan die Travelling Wave-Röhre („Wanderfeldröhre") in ihren neuesten Formgebungen ein breiteres Anwendungsfeld finden. Sie besitzt eine hierfür sehr wichtige Eigenschaft,

nämlich bei konstanter Leistung im FM-Betriebe ein Frequenzintervall von der Größenordnung 1000 MHz durchlaufen zu können. Sie ermöglicht ferner den Übergang von dem bisher mit der Scheibentriode (2 C 39 und Nachfolger) beherrschten Band 1700 ... 2300 MHz zu dem in der Gegend von 4000 MHz (Wellenlänge ~ 7,5 cm) liegenden, das u. a. bei gleichbleibender Größe der ausstrahlenden und auffangenden Spiegel eine bessere Möglichkeit schärferer Bündelung bietet[2]. Dank der außerordentlichen Abstimmbreite der Travelling Wave-Röhre würde auf den künftigen Richtfunkstrecken die gleichzeitige Übertragung zahlreicher Fernsehprogramme in der bewährten Form der FM ohne grundsätzliche Schwierigkeit durchführbar sein.

Wie steht es nun aber mit der Rundstrahlung der zur örtlichen Verteilung dienenden Fernsehsender? Man baut heute Sender dieser Art, die ein genormtes Bildfrequenzband mittels vertikal bündelnder Antennen, deren sammelnde Wirkung der ungebündelten Emission von 100 kW äquivalent ist, in den Nutzraum ausstrahlen. Solche Antennen lassen sich auch so breitbandig herstellen, daß sie die Hochfrequenzleistung mehrerer Sender bei praktischer Entkopplung derselben gleichzeitig abgeben können. Auf diesem Wege wären mit bedeutendem Aufwand weitere Steigerungen möglich; da sich dann aber die von Zeit zu Zeit auftretenden anomalen Reichweiten noch stärker auswirken müßten, wären dort, wo nach dem Stockholmer Verteilungsplan ein Sender auf der gleichen Welle arbeitet[3], empfindlichere Empfangsstörungen zu gewärtigen. Nun gibt es zwar ein Abhilfsmittel dagegen, die Versetzung der Trägerfrequenzen etwa um die halbe Zeilenfrequenz („offset carrier"); jedoch ist dies keine zu 100 % wirksame Methode. Als eine bessere technische Lösung erscheint es mir, unter Ausnutzung der Eignung des Dezimeterwellenbereichs zu sehr enger Bündelung der Emission, die Rundstrahlung der Programme weitgehend zu *dezentralisieren,* und zwar mittels relativ leistungsschwacher Sender, die planmäßig nur beschränkte Flächen versorgen, dafür aber mit viel größerer Dichte eingesetzt werden können. Gemeinschafts-Empfangsantennen können durch solche enge Bündelung sehr richtungsselektiv gemacht werden und hohe Gewinne an Feldstärke liefern. Derartige Sender sind auch geeignet, stellenweise

[2] Die zu erwartende geringere Empfängerempfindlichkeit wird durch die erzielte Steigerung der Hochfrequenzleistung ausgeglichen.

[3] Bekanntlich zwingt der beschränkte Frequenzraum, der für Fernsehen verfügbar ist, dazu, die gleiche Welle mehreren, räumlich weit voneinander entfernten Sendern zuzuteilen.

vorhandene Gebiete, in denen mit den bisher eingesetzten Rundstrahlern hoher Leistung trotzdem unzulängliche Empfangsamplituden erreicht werden, mit verstärkten Signalen zu versorgen, wofür natürlich die Sendefrequenz entsprechend versetzt werden muß. Der Erfolg, den einige bereits in Betrieb genommene sog. „Umsetzer" erbracht haben, beweist die Gangbarkeit dieses Ausweges, dem in Zukunft eine erhöhte Bedeutung zukommen wird. Die anzustrebende weitere Verzweigung der zubringenden Richtfunkstrecken oder Breitbandkabel kommt dieser Tendenz zur Dezentralisierung der Ausstrahlungspunkte entgegen.

Diese Aufgaben sind in den Erfahrungen des bisherigen Fernseh-Programmbetriebes begründet und daher als Nahziele der Entwicklung anzusprechen. Zu ihnen gesellen sich weitere, die aus der Notwendigkeit der Normenwandlung an den Nahtstellen der nationalen Netze entspringen. Bekanntlich sind in England 405 und in Frankreich 819 Zeilen, im übrigen europäischen Raume aber 625 Zeilen genormt. Man muß also, will man eine Sendung *allen* Fernsehländern unseres Kontinents zugänglich machen, entsprechende Umformungen des Rasters vornehmen. Zu diesem Zweck erzeugt man heute auf dem Schirm einer Bildschreibröhre mit dosiertem Nachleuchten das zugebrachte Bild und läßt dieses optisch auf eine Bildgeberröhre mit Speichervermögen (Superikonoskop, Image-Orthikon, Vidicon) einwirken, die mit der geänderten Zeilenzahl betrieben wird. Eine Reihe schaltungstechnischer Maßnahmen, z. B. eine leichte, sehr hochfrequente Transversalbewegung des Schreiblichtpunktes („spot wobbling") und saubere Begrenzung des Amplitudenbereichs der Helligkeit, beseitigen Störmuster, die auf optischer oder elektrischer Interferenz der beiden verschiedenen Zeilenraster beruhen. Trotz leidlich befriedigender Funktion bedeutet dieses Gerät keine ideale Lösung. Die Umwandlung eines 405zeiligen Bildes englischer Herkunft in ein 819 Zeilen-Bild, das in Frankreich oder Belgien verbreitet werden soll, kann in Anbetracht der Frequenzbandbeschränkung im englischen Netz auf 3 MHz keine proportional der praktisch verdoppelten Zeilenzahl vergrößerte Auflösung erbringen. Hier wird der Normenwandler zu einer technischen Eselsbrücke. Solange freilich über die Zeilennormung keine generelle Einigung in Europa zu erzielen ist, *muß* der Normenwandler weiterleben. Ich habe deshalb wiederholt empfohlen, unter Anwendung elektrostatischer Ladungsspeicherung in den Wandlerröhren Aufnahme und Abnahme des Bildsignals völlig zu entkoppeln, indem man sie zeitlich und örtlich trennt. Der bildschreibende Kathodenstrahl belädt eine speichernde Fläche, die der ablesende Strahl erst löscht, nachdem der Schreibstrahl sie

verlassen hat; Beladung und Entladung finden im Gegentakt auf zwei abwechselnd benutzten Schirmen statt, die in keiner optischen oder elektrischen Beziehung zueinander stehen. Der Bau solcher Röhren ist heute durchaus möglich.

Im gleichen Sinne würde der später zu behandelnde Eidophorspeicher arbeiten, der ein außerordentlich scharfes und genügend beständiges Ladungsbild zu schreiben erlaubt. Dieses kann man entweder optisch, durch Projektion auf eine Bildgeberröhre für die Weitersendung mit umgewandelter Zeilenzahl, ebenso gut aber auch rein elektrisch, durch Abtasten des elektrostatisch beladenen Eidophorschirmes mit einem Strahl langsamer Elektronen veränderter Ablenkfrequenz, verwerten.

Wenden wir uns nun wieder dem künftigen Ausbau der Fernsehbildverteilung zu! In dem Maße, wie mit der Überbrückung immer größerer kontinentaler Entfernungen die Zahl der Relais oder Zwischenverstärker wächst, sinkt bei festgehaltener Hochfrequenzleistung der Sender der sog. „Rauschabstand" (S : N, wo S die Signalamplitude in einer bestimmten Stufe des Empfängers, N die Amplitude der ebendort herrschenden Störschwankung, des „Rauschens", bezeichnet). In jedem Relais addiert sich das Rauschen zum ankommenden Bildsignal vektoriell; ist die Zahl der Relais M, so vermindert sich das Verhältnis $s = \frac{S}{N}$ auf $s = \frac{S}{N.\sqrt{M}}$. Dies gilt für Amplitudenmodulation, für Frequenzmodulation und Impulsphasenmodulation[4] in gleicher Weise. Daraus ergeben sich, solange die Röhrenleistung nicht nennenswert gesteigert werden kann, Entfernungsgrenzen, falls eine gewisse Bildgüte erhalten bleiben soll.

Man hat daher mit der Erprobung der sog. Codemodulation begonnen (W. M. Goodall im Bell-Labor. USA). Die Signalamplitude wird durch die Besetzung oder Nichtbesetzung der Stellen eines mehrstelligen Codes bestimmt; die übertragenden Impulse haben konstante Höhe, die deutlich über der des mittleren Rauschens liegen muß. Die ausgesandte Leistung hat also entweder (in willkürlichen Einheiten) den Wert 1 oder 0 („Ja" oder „Nein"). Nach den Gesetzen der Kombinatorik sind auf solche Weise mit M besetzten oder ausfallenden Impulsen 2^M, also z. B. bei $M = 5$ im ganzen $2^5 = 32$ Amplitudenstufen (Halbtöne zwischen Schwarz und Weiß) übertragbar.

[4] Der Zeitpunkt eines übertragenen Impulses zwischen zwei bestimmten Zeitpunkten konstanten Abstandes, also seine Phase in bezug auf diese, ist das Maß der jeweiligen Signalamplitude.

Da die Rauschamplitude n. V. < 1 ist, kann jedes Relais feststellen, ob Ja oder Nein gemeint ist, je nachdem, ob die empfangene Amplitude $\geqq 1$ oder < 1 ist. Daher besteht die Möglichkeit rauschfreier Regenerierung des Codesignals in jedem Relais, so daß am Ende der Strecke das Signal ebenso deutlich ankommt, wie es am Anfang derselben ausgesandt worden ist. Man nennt ein solches Verfahren, das nur bestimmte Stufen des Signalwertes zuläßt, „Quantisierung".

Ein Nachteil dieser Art von Codemodulation ist der große Frequenzbandbedarf, davon herrührend, daß jedem Bildpunkt $M \geqq 5$ Impulse zugeordnet sind. Goodall benötigte eine Bandbreite der Größenordnung 50 MHz für ein 525zeiliges Bild. Eine solche Bandbreite ist für die Zwischenverstärkung und für den Laufzeitausgleich aller Frequenzen, die das Signal enthält, unerwünscht. Man kann nun an Bandbreite erheblich sparen, wenn man außer den Signalquanten 0 und 1 eine geringe Anzahl weiterer Stufen, 2, 3, 4 . . ., zuläßt. Eine Grenze ziehen da nur die gelegentlichen Einbrüche der Feldstärke in den Richtfunkstrecken. Innerhalb vernünftiger Bemessungen kommt man, wie ich anderweitig gezeigt habe, auf 2 Impulse statt 5 hinunter[5]. Auch diese Modifikation der Codemodulation ist durch die Möglichkeit charakterisiert, in den Relais das beigemengte Rauschen völlig auszufiltern. Sie gestattet überdies, die Impulspaare mehrerer Fernsehprogramme zeitlich ineinanderzuschachteln und aus diesem Gemisch ausgewählte Programme zu entnehmen und abzuzweigen, ohne daß es dazu, wie im Falle der hergebrachten FM, komplizierterer Maßnahmen schaltungstechnischer Art bedürfte. Allerdings erfordert die Methode einen längs der ganzen Strecke einwandfreien Gleichlauf der Signalabtastung, auf die sich die Ausmerzung der Rauschkomponente gründet. Es ist aber auf einer Fernsehrichtfunkstrecke für die Synchronisierung des Zeilen- und des Bildwechsels ohnehin stets eine Folge von Gleichlaufimpulsen verfügbar und deshalb verhältnismäßig leicht, diese Möglichkeit für die beschriebene Codemethode mit auszunutzen.

Die große Bandbreite der Verstärkerwirkung einer Travelling Wave-Röhre kann also in zweierlei Weise verwertet werden, um künftig auf den Richtfunkstrecken im 4000 MHz-Band eine Mehrzahl von Fernsehprogrammen gleichzeitig fortzuleiten: entweder in FM mit erhöhtem Frequenzhub, der einen besseren Rauschabstand liefert, oder in Impulstastung nach einer Codemethode, mit völliger Beseitigung des Rauschens. Es ist noch nicht zu

[5] *Fritz Schröter,* Quantisierte Signale in der Nachrichtentechnik, Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, 43. Jahrgang (1952) Nr. 12, S. 497—508.

übersehen, für welchen Weg man sich endgültig entscheiden wird. Sicher aber ist, daß uns die Frage der Zubringung einer genügenden Auswahl von Bilddarbietungen zu den Zentren der Rundum-Ausstrahlung keine Sorge zu bereiten braucht.

Ganz anders liegt dies nun bisher bei diesen Zentren selber. Wie gesagt, haben wir im Band I nur 3, im Band III nur 6 Kanäle von je 7 MHz zur Verfügung. Diese Möglichkeiten sind bereits voll ausgenutzt, die Erschließung des Dezimeterbereichs ist im Gange. Wollen wir aber, was eben *die* Lebensfrage des Gerätemarktes ist, dem Teilnehmer wenigstens 3 Programme zuführen, so sind die dem Fernsehen zugesprochenen Bänder insgesamt unzulänglich, selbst dann, wenn wir im Dezimeterband mit vervielfachtem Einsatz der gleichen Wellenlänge rechnen, also die auch bei diesen Wellen vorhandenen Möglichkeiten der Störung in entfernten Sendebezirken, durch Streuung an Inversionsschichten der Troposphäre, bewußt ignorieren. Hinzu kommt, daß die Verwendung von Dezimeterwellen, besonders in großen Städten, in Anbetracht der Gefahr von bildstörenden Reflexionen (durch Resonanz leitender Gebilde, die sich in der Nähe der Empfangsantenne befinden) durchaus nicht unbeschränkt zulässig ist.

Wir kommen damit zur Folgerung, daß Mittel gefunden werden müssen, um den Frequenzbandaufwand ($\triangle$ f) des einzelnen Fernsehkanals ohne Minderung der Bildschärfe so weit zu reduzieren, daß die Zahl der im gleichen Bande unterzubringenden Kanäle sich verdoppelt, besser verdreifacht. Diese Notwendigkeit führt uns zu dem eng mit dem *Frequenzbandproblem* verbundenen Problem der *Bildspeicherung*. Wir werden sehen, daß die hier vorliegenden Ansätze zu brauchbaren Lösungen sich wiederum rückwärts auf die Verteilungsfrage auswirken, insbesondere bei der Aufgabe, das von einer Gemeinschafts-Empfangsanlage aufgenommene Signal auf die Gesamtheit der angeschlossenen Heimempfänger zu kanalisieren.

2. *Frequenzbandverdünnung und Bildspeicherung*

Die Verengung oder Verschmälerung des Frequenzbandes einer Nachricht (oft unglücklich als „Kompression“ bezeichnet; viel zutreffender nach W. *Runge* „Frequenzbandverdünnung“ zu nennen) bedeutet die Entfernung aller überflüssigen Frequenzkomponenten aus dem als Frequenzfunktion dargestellten Signal, was häufig nur durch eine Art Codierung geschehen kann. Natürlich muß hierbei der volle Informationsgehalt, der je Zeiteinheit anfällt, übertragen werden. Eine längere Reihe periodisch auftretender,

rechteckiger Impulse läßt sich bekanntlich durch eine *Fourier*'sche Reihe darstellen, in welcher die Periode dieser Stromstöße die Grundfrequenz darstellt. Wo wir die Reihe der Harmonischen dieser Grundfrequenz abbrechen wollen, hängt davon ab, wie scharf wir in der Übertragung die Impuls*form* wiederzugeben wünschen.

Der Frequenzbandaufwand des Fernsehbildes ist aus der sogenannten Schachbrettvorstellung hergeleitet: die kleinsten vom Auge eben noch auflösbaren Flächenelemente (Bildpunkte) bilden, nacheinander abgetastet, eine regelmäßige Folge weißer und schwarzer Quadrate. Bei diesem Modell ergibt der periodische Wechsel von hell und dunkel die Grundschwingung. Auf ihre Harmonischen können wir verzichten, da an der Grenze der Auflösbarkeit benachbarter Bildpunkte visuell nur noch die *Energieunterschiede* zwischen weiß und schwarz bewertet werden, aber nicht mehr die wahre Steilheit der Helligkeitssprünge. Die Grundschwingung erscheint im Fernsehsignal als 1 Periode, deren positive Halbwelle dem Weiß und deren negative Halbwelle dem Schwarz entspricht; daher in der S. 2 angegebenen Formel die 2 im Nenner des 1. Bruches. In natürlichen Bildern kommt die Schachbrettstruktur niemals vor; sie ist nur eine gedankliche Hilfe zur Ableitung des maximal benötigten $\triangle f$.

Wir sahen, daß die derzeitige Fernsehübertragung ein periodisches Wiederholen *aller* Bildpunkte darstellt, unabhängig davon, ob diese sich von Bild zu Bild, d. h. binnen $^1/_{25}$ sek., in ihrer Helligkeit geändert haben oder nicht. Vom Standpunkt der modernen Informationstheorie aus ist das ein großer Luxus und folglich ein Ansatzpunkt für Verfahren zur Frequenzbandverdünnung. Die „Redundanz", d. h. die Summe der Komponenten des Frequenzspektrums, die für die Übermittlung des Nachrichtenflusses im Prinzip als entbehrlich, also als überflüssig erscheinen, ist beim heutigen Fernsehen sehr erheblich. Wir können sagen, das klassische Fernsehbild habe eine dreifache Redundanz:

1) Wiederholung bereits übertragener Helligkeitswerte, die sich nicht geändert haben. In geeigneter Weise mit einem „Gedächtnis" (Speichervermögen) ausgestattete Bildabtaster und Bildschreiber sind daher ein modernes Entwicklungsziel, um für jeden Bildpunkt durch Vergleich mit der Helligkeit, die er bei der voraufgehenden Abtastung besaß, zu entscheiden, ob er ein Korrektursignal erfordert, bzw. um die unveränderte Intensität bei Fehlen eines solchen Signals im Empfangsbild festzuhalten.

2) Die scheinbare Darbietung von 50 Bildfeldern je sek. ist bei den gewünschten Leuchtdichten unerläßlich, um die Anfälligkeit der Netzhaut

gegen Flimmern auszuschalten. Es werden dabei 25 ganze Bilder übertragen, während für die Kontinuität der Wiedergabe von Bewegungen mit Hilfe des stroboskopischen Effektes 16 Bilder, ja sogar bei Anwendung spezieller Verschachtelung der Bildpunktfolgen 12 1/2 Bilder je sek. genügen. Es wird also ohne Vergrößerung des Informationsgehalts ein $n = 25$ sek.$^{-1}$ entsprechendes Frequenzband nur des Flimmerns wegen aufgewendet, während wir mit 16 oder besser 16 2/3 Bildern/sek. auskämen, wenn diese physiologische Begleiterscheinung vermieden werden könnte. Das bedeutet die Inanspruchnahme des 1 1/2-fachen der informationstheoretisch notwendigen Bandbreite bei Voraussetzung der klassischen Übertragungsweise. Hier wird der alsbald zu beschreibende *Überblendungsspeicher* weiterhelfen.

3) Die Zeilenzahl (k) und die Zahl der Bilder je sek. (n) sind empfangsseitig a priori bekannt und mit beiden auch der Zerlegungstakt und die Zerlegungsgeschwindigkeit. Der Einsatz beider Rückläufe des Kathodenstrahls läßt sich im Empfänger leicht richtig treffen, wenn man in diesem einen sehr frequenzkonstanten Oszillator und einen Frequenzteiler vorsieht. Es ist daher grundsätzlich überflüssig, neben den Helligkeitsimpulsen der abgetasteten Bildpunkte immer wieder Gleichlaufsignale zu übertragen; man könnte sich diese sparen. Da sich diese Weglassung aber nicht im Frequenzbandaufwand, sondern nur vereinfachend auf das Sendeschema und störungsbeseitigend in bezug auf den Synchronismus auswirkt, wollen wir hier nicht weiter von ihr sprechen und lediglich die Punkte 1) und 2) behandeln.

Der Gedanke, nur die von 1/25 zu 1/25 sek. auftretenden Helligkeits*änderungen* jedes Bildpunktes auf einen Empfangsspeicher zu übertragen, ist 1929 von R. D. *Kell* ausgesprochen worden, ohne Mittel anzugeben, mit denen man in der Praxis aus der Gewinnung eines solchen „Differenzbildes" eine Methode zur Frequenzbandverdünnung herleiten könnte. Wie dies erreicht werden kann, habe ich 1936 gezeigt: die leeren Stellen des Differenzbildes, wo also die Helligkeit unverändert geblieben war, werden mit übernormaler Geschwindigkeit abgetastet, ohne ein Signal zu liefern, und es wird so Zeit für unternormale Abtastgeschwindigkeit an den besetzten Stellen gewonnen, d. h. dort, wo Änderungen stattgefunden haben. Da die erzeugte Frequenz der Abtastgeschwindigkeit proportional ist, ergibt sich ein weniger breites $\triangle f$. Wir kommen darauf nach der Betrachtung des Überblendungsspeichers zurück.

Aber auch ohne das Ergebnis einer Frequenzbandverkleinerung hätte die Durchführung des Vorschlages von *Kell* im Hinblick auf die Verteilungs-

frage des Fernsehens großes Interesse. Messungen haben gezeigt, daß die *Korrelation* im belebten Bilde sehr beträchtlich ist. Die Gesamtheit des Bildpunktmosaiks ist nicht eine Vielzahl voneinander *unabhängiger* Flächenelemente, sondern es bestehen infolge der realen Gegenständlichkeit und der organischen Komposition des Bildinhalts gesetzmäßige Beziehungen zwischen räumlich oder zeitlich koordinierten Bildpunkten. Binnen $^1/_{25}$ sek. ändert sich nur ein im Mittel unter 10 % liegender Bruchteil der Summe aller Bildpunkte; wären es wesentlich mehr, so könnte das Auge den Vorgang nicht schnell genug übersehen. Nach *Kell* würde also — stets vorausgesetzt, daß wir die Helligkeitswerte empfangsseitig speichern können — der Sender im Mittel während 90 % der Zeit gar nichts ausstrahlen und während der restlichen 10 % nur die Größe der Änderungen, aber nicht, wie heute, die Absolutwerte der Bildpunkthelligkeit. Dies allein wäre schon, ohne Verkleinerung des $\triangle$f, ein sehr bedeutender *Gewinn für die Ausbreitung des Fernsehsignals*. Denn da aus den genannten Gründen die Wahrscheinlichkeit zeitweiliger Störungen der Ausstrahlung in Nachbargebieten ganz entscheidend vermindert wäre, könnte im Vergleich zu heute die Dichte der auf gleicher Welle arbeitenden Sender stark vergrößert werden.

Die Verwirklichung der Differenzbildsendung im Sinne von *Kell* hängt von der Lösung des Empfangsbildspeichers ab, der wir uns nunmehr zuwenden wollen.

Hier handelt es sich um eine frühzeitig geforderte Vervollkommnung des klassischen Bildschreibverfahrens, bei dem jeder Bildpunkt binnen $^1/_{25}$ sek. nur äußerst kurzzeitig (etwa $^1/_{10}$ μsek.) erregt wird und deshalb, um im Mittel eine befriedigende Leuchtschirmhelligkeit zu liefern, sehr intensiv strahlen muß (der Gesichtssinn mittelt hierbei nach dem *Talbot*'schen Integralgesetz die Helligkeit über die Zeitdauer der Abtastperiode). Der lumineszenztechnische Wirkungsgrad dieser Methode ist bescheiden, die Herstellung feinster Schreiblichtpunkte von extremer Leuchtdichte elektronenoptisch unbequem und an Grenzen gebunden. Schon bald nachdem die Einführung des Speicherprinzips in den Bildgeberröhren — Ikonoskop und Nachfolger — den wichtigsten Fortschritt der Fernsehtechnik erbracht hatte, wurde die Möglichkeit der Übertragung dieses Prinzips auf die Empfangsseite diskutiert und sogleich eine Reihe von Vorteilen im Vergleich zur Methode des bewegten Lichtpunktes erkannt: die infolge wirksamer Speicherung helligkeitssteuernder Ladungen praktisch *gleichzeitige Emission sämtlicher Flächenelemente* des Bildfeldes ergibt bei $n = 16\,^2/_3$ sek.$^{-1}$ ein ruhiges, flimmerfreies Bild mit abgeschwächtem Störhintergrund, großer Helligkeit (dank dem

höheren Nutzeffekt der Leuchtphosphore bei der viel kleineren Belastung der Flächeneinheit) und stetiger Wiedergabe der Bewegungen. Die Flimmerfreiheit ist dabei noch vergrößert durch das über längere Zeiten konstante Leuchten der Mehrzahl von Bildpunkten, die währenddessen keine Änderung ihrer Helligkeit erfahren.

Bildempfangsspeicher dieser Art sind Flächenspeicher in Gestalt einer isolierenden, meist netzartigen Schicht, die von einem durch das Fernsehsignal in seiner Stromstärke gesteuerten Elektronenstrahl zeilenweise aufgeladen wird und dadurch imstande ist, einen diffusen Fluß langsamer Elektronen *örtlich* zu steuern, so daß er nachher, durch ein starkes elektrisches Feld beschleunigt, einen Leuchtschirm getreu der Helligkeitsverteilung des Urbildes anzuregen vermag. Den vielseitig modifizierbaren elektronischen Mechanismus solcher Speicherröhren zu beschreiben, fehlt hier der Raum. Nur auf zwei Formen derselben kann eingegangen werden. Zuvor sei jedoch das Prinzip der *Überblendungssteuerung* anhand von Abb. 1 erörtert, da es die soeben aufgezählten Vorzüge der Empfangsspeicherung in günstigster Weise zu verwirklichen erlaubt.

Die klassische Art der impulsartigen Aufhellung des Leuchtschirmes beim Übergang des abgelenkten Elektronenstrahls über das betrachtete Flächenelement ist in Abb. 1 durch die einzelnen, im Vergleich zur Abtastperiode ($^1/_{25}$ oder $^1/_{16}$ sek.) sehr kurzen Stromstöße variabler Höhe, 1, 2, 3, 4, dargestellt. Dieses Zeitverhältnis der Leuchtdauer zur Anregungsperiode (in der Kinematographie „Sektorverhältnis" genannt) ist in bezug auf das Entstehen von Flimmern sehr unvorteilhaft. Der Überblendungsspeicher zeigt (gestrichelte Linien) ein über die ganze Zeit bis zur Wiederkehr des Elektronenstrahls am betrachteten Punkte konstant unterhaltenes Leuchten dosierter Stärke und praktisch zeitlose Änderung derselben im Augenblick der nächstfolgenden Anregung. Wie kann dies nun verwirklicht werden?

Im Laboratorium der RCA (Radio Corporation of America) haben *M. Knoll*, *P. Rudnick* und *H. Hook* einen Bildspeicher entwickelt, dessen Aufbau Abb. 2 zeigt. Der vom Fernsehsignal modulierte Schreibstrahl erzeugt auf einem Raster von isolierenden Elementen, die einseitig ein Metallnetz bedecken, eine bildgetreue Ladungsverteilung; diese steuert den Durchgang eines homogenen Bündels langsamer Elektronen je nach dem örtlichen Aufladepotential. Das Speichersystem wirkt zugleich als elektronenoptisches Linsenraster, das beim Anlegen einer hohen Beschleunigungsspannung an die mit dem Leuchtphosphor überzogene durchsichtige Anodenfläche auf dieser unmittelbar ein helles, alle Grautöne gut wiedergebendes Speicherbild her-

vorbringt. Die Aufladung der Speichergitterelemente kann auch so erfolgen, daß man mit dem Fernsehsignal die an der Sammelanode herrschende Spannung moduliert. Entspricht die Energie der Schreibstrahlelektronen dem Durchlaufen von etwa 500 bis 1000 Volt, so lösen sie an der Isolierschicht Sekundärelektronen aus, die von der Sammelanode aufgenommen werden, solange die letztere noch absaugend wirkt. Der Isolator kann sich daher

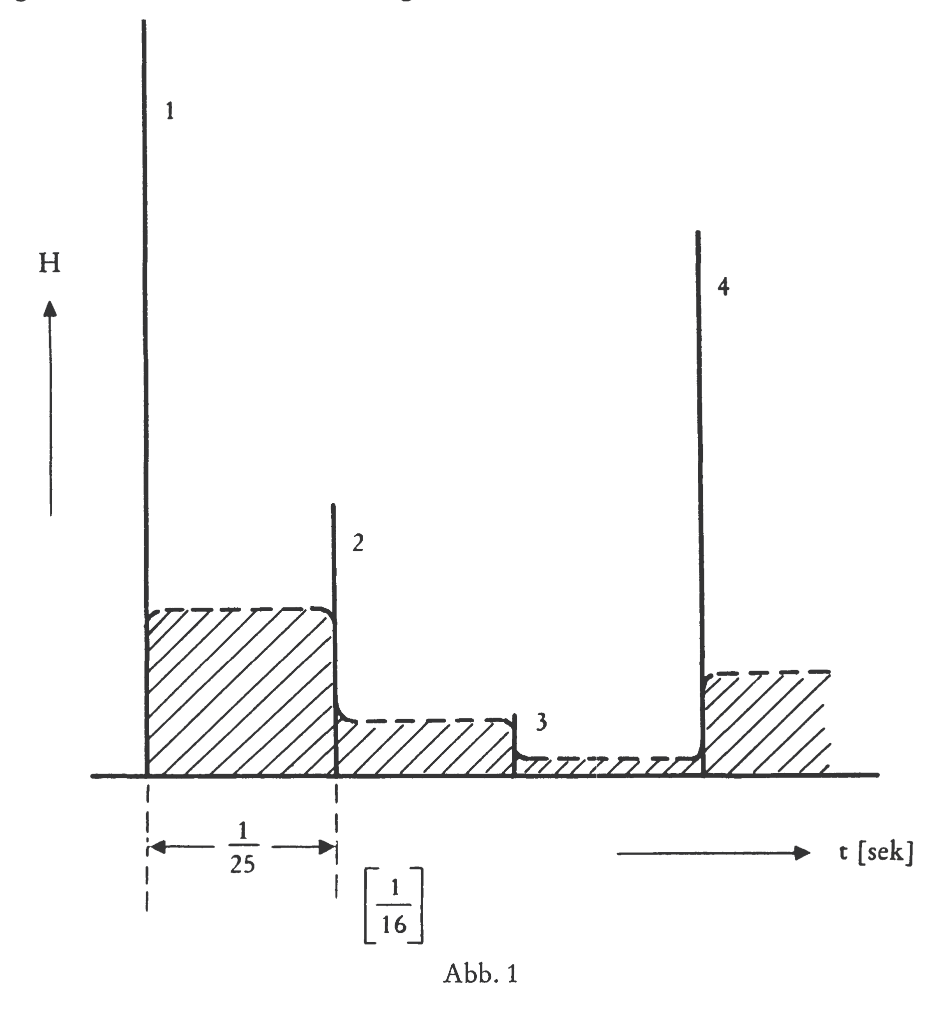


Abb. 1

positiv aufladen, bis sein Potential leicht oberhalb des Potentials der Sammelanode liegt; gegen deren dann einsetzende Bremswirkung laufen Sekundärelektronen dank ihrer Eigengeschwindigkeit noch teilweise an, bis Zugang primärer und Abgang sekundärer Ladung sich die Waage halten. Erniedrigt man nun das Potential der Sammelanode, so ist das nicht mehr möglich, die Sekundärelektronen können vom Isolator nicht in gleicher Menge fort, und dessen Potential sinkt entsprechend in negativer Richtung (Prinzip der Grid-Barrier-Röhre). Es ist hieraus leicht zu ersehen, daß das sogenannte

Sekundär-Emissions-*Gleichgewicht,* der stationäre Zustand, bei dem ebensoviel primäre Strahlelektronen auf den Isolator treffen wie Sekundärelektronen von ihm fortgehen, dem Auf und Ab des steuernden Potentials der absaugenden Sammelelektrode stets folgen muß. Infolge der sehr geringen elektrostatischen Kapazität des einzelnen Isolatorelements ist eine solche Potentialänderung trägheitslos. Der Schreibstrahl kann hierbei konstante Stärke behalten, da er nur die synchrone Verteilung der Aufladung zu bewirken hat. Auf diese Weise gelingt es, dem Speichergitter eine bildgetreue Steuerwirkung aufzuprägen und den diffusen Lesestrahl in den Gittermaschen richtig zu dosieren. Zugleich aber tritt infolge der Trägheitslosigkeit des Umladevorgangs die in Abb. 1 dargestellte Überblendungswirkung ein, bei der jeder Bildpunkt, nachdem er während der ganzen voraufgehenden Abtastperiode mit konstanter Intensität erregt war, praktisch zeitlos und *ohne zwischendurch verdunkelt zu werden* auf den neuen Helligkeitswert umspringt.

Knoll und Mitarbeiter haben die Röhre nach Abb. 2 für Radarzwecke, Faksimiletelegraphie, Fernmessung und Aufzeichnung flüchtiger Vorgänge empfohlen, solange die mit ihr erzielte Auflösung für die Anforderungen des Fernsehens nicht genügte. Später berichtete Knoll, daß damit nach ge-

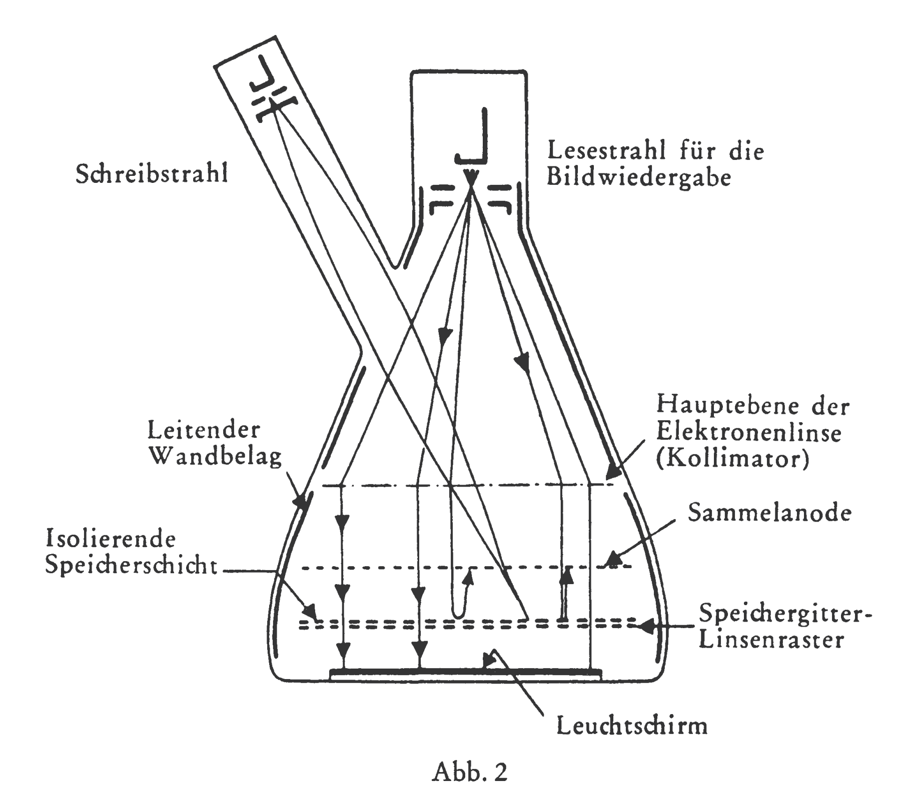


Abb. 2

wissen Verbesserungen bei 7000 Volt Beschleunigungsspannung Bilder von annähernder Fernsehqualität, etwa 400 Zeilen entsprechend, erhalten wurden. Die Leuchtdichte betrug 0,1 Stilb, was der sehr hellen Beleuchtung mit etwa 1000 Lux äquivalent war. Wie man sieht, ist das Ergebnis nicht mehr allzu weit entfernt von den praktisch zu stellenden Anforderungen. Freilich ist der Bau einer solchen Röhre noch recht kompliziert.

Eine andere Ausführungsform der elektrostatischen Flächenspeicherröhre für direkte Wiedergabe des Empfangsbildes auf dem Leuchtschirm werden wir im Zusammenhang mit dem Differenzbildverfahren betrachten.

Handelt es sich im Voraufgehenden stets darum, die Steuerwirkung des Signals im Leuchtbild zeitlich zu strecken, wobei praktisch die Gleichzeitigkeit mit dem Urbild und die Unmittelbarkeit der Wiedergabe bestehen bleiben, der optische Eindruck aber nicht konserviert wird, so bezweckt die in Entwicklung befindliche Bandspeicherung, ein bildliches Geschehen für den Zweck seiner später erfolgenden Wiedergabe auf abwickelbarem Träger zu fixieren, von dem es zu gegebener Zeit wieder abgenommen und ausgesendet werden kann. Das ist für Länder mit großen Unterschieden der Ortszeit, für Proben von Fernsehspielen und für den Zwischenempfang wichtig und beschäftigt heute als Entwicklungsproblem viele Laboratorien.

Um ein in großem Maßstab zu projizierendes Fernsehempfangsbild herzustellen, hat man sich des photographischen Films (Normalfilm 35 mm und Schmalfilm 16 mm) als Zwischenträger bedient. Das Bild wird als Negativ auf dem Leuchtschirm einer Braunschen Röhre geschrieben und belichtet dabei den daran vorbeigeführten Filmstreifen. Dieser wird sodann in einem Schnellverfahren entwickelt und fixiert, um anschließend durch den Bildprojektor zu laufen, der das vergrößerte Abbild auf dem Betrachtungsschirm entwirft. Das Verfahren ist sehr kostspielig, weil der Silberemulsionsfilm teuer und nicht regenerierbar ist; es wird dank den Fortschritten des Eidophorsystems seine Bedeutung, abgesehen von der Anwendung für Archivzwecke, in naher Zukunft verlieren.

Aus wirtschaftlichen Erwägungen erscheint der photographische Film auch als Speicher einer längeren bildlichen Darbietung ungeeignet, obwohl er ein Höchstmaß an Auflösung gewährleistet. Man ist deshalb damit beschäftigt, das Fernsehsignal, das von einer aufnehmenden Bildkamera oder vom Ausgang eines Empfängers geliefert wird, auf einem magnetischen Trägerband zu speichern. Dazu dient das Magnettonverfahren in einer Modifikation, die hinsichtlich Weite des Schreib- und Lesespaltes, Bandgeschwindigkeit und Bandbreite der Verstärkung dem $\triangle f$ des abgetasteten

Fernsehbildes entspricht. Bei der RCA sind damit schon längere Farbfernsehdarbietungen aufgenommen und wiedergegeben worden (5 Schreibspuren für die Farbauszüge, Ton und Gleichlaufsignal). Man kann heute sagen, daß diese Entwicklung dank sinnreicher Schaltungskunstgriffe in schnellem Fortschreiten begriffen ist und Frequenzen von mehreren MHz gespeichert werden können. Ein Vorteil des Verfahrens liegt in der Möglichkeit, die Aufnahme nach Belieben zu löschen und den Träger stets von neuem zu verwenden. Der Nachteil ist in der schwierigen mechanischen Problematik (Bandgeschwindigkeit, Antrieb mit konstanter Schnelligkeit, Abnutzung, Schrumpfung) zu erblicken.

Zu den elektrostatischen Flächenspeichern zurückkehrend, betrachten wir jetzt die Verknüpfungen zwischen dem Frequenzband- und dem Speicherproblem und die anknüpfenden neuen Entwicklungen.

Zunächst ist klar, daß die vom Überblendungsspeicher dargebotene Möglichkeit, die Bildwechselzahl von $n = 25$ sek.$^{-1}$ auf $n' = 16^2/_3$ sek.$^{-1}$ herabzusetzen (ohne Zeilensprung, weil dieser dann entbehrlich ist) sich unmittelbar in einer Reduktion der beanspruchten Kanalbreite im Verhältnis 3 : 2 auswirken müßte. Dementsprechend würde die Zahl der unterzubringenden Darbietungen im Band I von 3 auf 4, im Band III von 6 auf 9 wachsen, bzw. von 6 auf 8, falls man den jetzigen Abstand der Tonsender vom Ende des Bildfrequenzbandes beibehalten müßte. Ein solcher Gewinn wäre zu begrüßen, aber unzureichend. Das zwingt uns, Verfahren zu ersinnen und zu erproben, die zu weitergehenden Beschränkungen der Kanalbreite führen können. Der Überblendungsspeicher bedeutet dabei ein sehr interessantes und wichtiges Hilfsmittel. Er würde den erwähnten Vorschlag der Differenzbildsendung von *Kell* durchführbar machen. Vor allem aber gestattet er die Verwirklichung von frequenzbandverdünnenden Codierungen des Bildsignals, indem er z. B. bei den Methoden, die mit wechselnder Abtast- und Schreibgeschwindigkeit arbeiten, die physiologische Störwirkung des unperiodischen Zeilenaufbaus auf dem Leuchtschirm des Empfängers durch die kontinuierliche Emission aller Bildpunkte verdeckt.

3. Verfahren und Schaltungen für die Verwirklichung der Frequenzbandverdünnung

Unter dem Einfluß der modernen Theorie der Informationsübermittlung haben die bedeutendsten Laboratorien und Spezialisten der Nachrichtentechnik begonnen, das Problem der Bandverdünnung nicht allein theoretisch,

sondern auch experimentell zu bearbeiten. Ich kann hier nur eine Auswahl aus diesen Entwicklungen geben, und zwar lediglich in summarischer Form.

Es gilt dabei stets, das Signal so zu codieren, daß die Redundanz wirksam vermindert wird. Als aussichtsvoll hat sich dabei die Modulation bzw. Umschaltung der Abtastgeschwindigkeit erwiesen. Der Gedanke ist an sich alt, neu hingegen sind die Arten seiner Durchführung. Ich betone, daß es sich dabei um Versuche, keineswegs bereits um eine fertige Technik handelt. Da aber hier das Kardinalproblem der weiteren Fernsehentwicklung liegt, lohnt es sich, diesen Bestrebungen, soweit sie Ansätze für praktische Lösungen zu bieten scheinen, die verdiente Beachtung zu schenken.

1) Geschwindigkeitsmodulation

R. Thun hat schon 1930 vorgeschlagen, die Helligkeitsmodulation ($\triangle H$) durch Geschwindigkeitsmodulation ($\triangle v$) der Strahlablenkung zu ersetzen, wofür gilt $\triangle H = 1/k \triangle v$. Die praktische Durchführung des Gedankens gelang nicht, auch nicht bei Versuchen *L. H. Bedford* und *O. S. Puckle,* beide Methoden zu kombinieren. Abgesehen von technischen Schwierigkeiten, die besonders aus dem unperiodischen Zeilen- und Bildwechsel erwuchsen, war der direkte geschwindigkeitsmodulierte Bildaufbau bei den Experimenten von *Thun* und von *Ardenne* mit unzulässigen optisch-physiologischen Störerscheinungen (Flimmern) verbunden. Eine sehr positive Eigenschaft jedoch bedeutete die große prinzipielle Einfachheit des Empfängers, die in einer fortgeschrittenen Zukunft vielleicht wegweisend sein wird. Wenn die Entwicklung des Überblendungsbildspeichers mit guter Auflösung gelingt, sind die erwähnten Störeffekte beseitigt, denn alsdann braucht nur die *Aufzeichnung* und Speicherung der steuernden Ladungen mit Geschwindigkeitsmodulation der Strahlbewegung auf einem Zwischenschirm zu erfolgen, während der Leuchtschirm von allen Flächenelementen der Speicherfläche aus gleichzeitig und unabhängig vom Zeitpunkt der örtlichen Aufzeichnung erregt wird. Diese Prognose setzt freilich voraus, daß der Speicher selbst den Schaltungsaufwand nicht unverhältnismäßig vergrößert.

Die Grundlage des Vorschlages von *Thun* war die aus der Analyse von Filmbildern gewonnene Erkenntnis des Überwiegens schwarzer oder dunkelgrauer Tönungen in natürlichen Bildfeldern. Ordnet man diesen Werten eine sehr hohe Abtastgeschwindigkeit zu, so gewinnt man Zeit für die Übertragung der helleren Stellen mit stark vermindertem Tempo. Die

Gesamtbilanz der Methode lautet dann etwa wie folgt: Das Geschwindigkeitsmittel v wird kleiner als die klassische konstante Ablenkgeschwindigkeit des Elektronenstrahls, und die Breite $\triangle f$, die zur Wiedergabe der Hell-Dunkel-Verteilung im Urbilde erforderlich ist, nimmt entsprechend ab ($\triangle f \simeq v/2d$, wo d die Ausdehnung des abtastenden Strahlquerschnitts in der Zeilenrichtung bedeutet).

In jüngster Zeit haben nun *E. C. Cherry* und *G. G. Gouriet* sowie unabhängig von diesen *D. A. Bell* den Gedanken der Geschwindigkeitsmodulation als Mittel zur Frequenzbandverdünnung wieder aufgegriffen und seine Verwendung in veränderter Form diskutiert. Die Strahlablenkung soll dort, wo das Bild viel Detail aufweist, mit unternormaler ($v_1 < v_0$), an Stellen sanfterer Helligkeitsübergänge, die keine hohen Übertragungsfrequenzen liefern, mit übernormaler ($v_2 > v_0$) Schnelligkeit stattfinden. Im ersten Fall bedeutet dies, da die entstehende Signalfrequenz $f \simeq v/l$ (l räumliche Wellenlänge des jeweils zu übertragenden Details) ist, eine Reduktion von f im Verhältnis v_1/v_0, wo v_0 die normale Geschwindigkeit darstellt. Solange aber l große Ausdehnung hat, darf v_2 übernormal sein, ohne daß f die Grenze der Kanalbreite überschreitet.

Nach *Cherry-Gouriet* kann man den Detailgehalt längs einer abgetasteten Einheitsstrecke l_0 darstellen durch:

$$D_{l_0} = \int_{l_0} \left| \frac{dU}{dx} \right| dx ,$$

(x Zeilenkoordinate, U Amplitude). Aus dieser Definition ergab sich eine elegante Meßmethode für D_{l_0}. Es wurden damit bei natürlichen und Filmbildern 1,8 % bis max. 8 % des Maximums gefunden, das eintrat, wenn das Bildfeld mit 3 MHz schachbrettartig, d. h. zu 100 % aller Punkte, durchmoduliert war.

Wie die Geschwindigkeit der Zeilenablenkung vom Bilddetail, also vom Absolutbetrag $\left| \frac{dU}{dx} \right|$ gesteuert wird, geht aus Abb. 3 hervor. Die Vorlage sei eine Strichzeichnung, die nur die Grenzwerte Schwarz und Weiß enthält. Aus der am Ausgang des Bildgebers abgenommenen verstärkten Amplitude bildet der „Modulus Differentiator“ (ein Schaltelement, das die Größe von dU/dt unabhängig von deren Vorzeichen, also den Absolutbetrag liefert) den maßgebenden Wert $|dU/dt|$, der dem $|dU/dx|$ entspricht, um rückwirkend die Abtastgeschwindigkeit gemäß der Gleichung

$$v = v_{\max} - K \cdot \left|\frac{dU}{dt}\right|$$

zu ändern (K = Konstante). Empfangsseitig wird $U(t)$ differenziert, um durch den Betrag $\left|\frac{dU}{dt}\right|$ die Ablenkungsgeschwindigkeit übereinstimmend mit der Geberseite zu regeln. Hierzu müssen $v_{\max}$ und K innerhalb gewisser Toleranzen fest gegeben sein. Für die Synchronisierung des Zeilen- und des Bildwechsels bestehen keine wesentlichen Probleme, wir brauchen darauf nicht einzugehen.

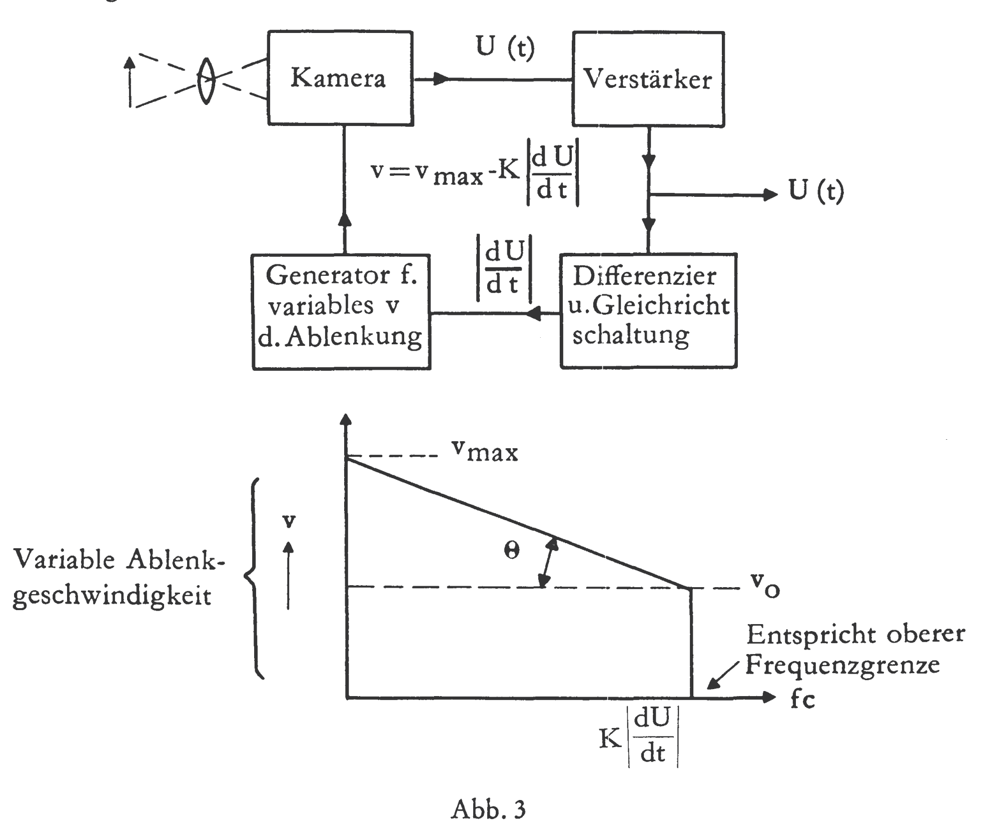


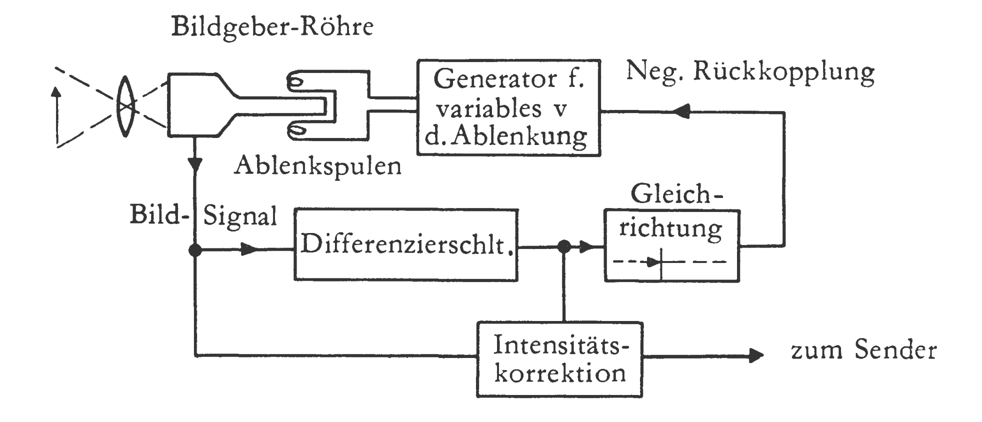
Abb. 3

Selbstverständlich muß die zusätzliche Helligkeitsmodulation, die im Empfangsbild durch die Änderung der Ablenkungsgeschwindigkeit v entsteht, kompensiert werden; denn die Änderung von v soll ja nur zur Verengung des Frequenzbandes, nicht aber zur Übertragung der Helligkeitswerte dienen. Abb. 4, die von *D. A. Bell* veröffentlicht wurde, zeigt diesen Ausgleich.

Ich kann hier nicht im einzelnen die von *Cherry* und *Gouriet* in ihrer Arbeit diskutierten Grenzen der Anwendbarkeit des beschriebenen

Verfahrens behandeln. Schwierigkeiten treten grundsätzlich bei Halbtonbildern auf, weil $\left|\frac{dU}{dt}\right|$ ja nicht allein von der Frequenz, sondern auch von der Amplitude abhängt. Der Einfluß des Rauschens ist bewußt vernachlässigt. Die Verfasser haben daher den Grundgedanken weiterentwickelt

GEBER-SCHALTSCHEMA



EMPFÄNGER-SCHALTSCHEMA

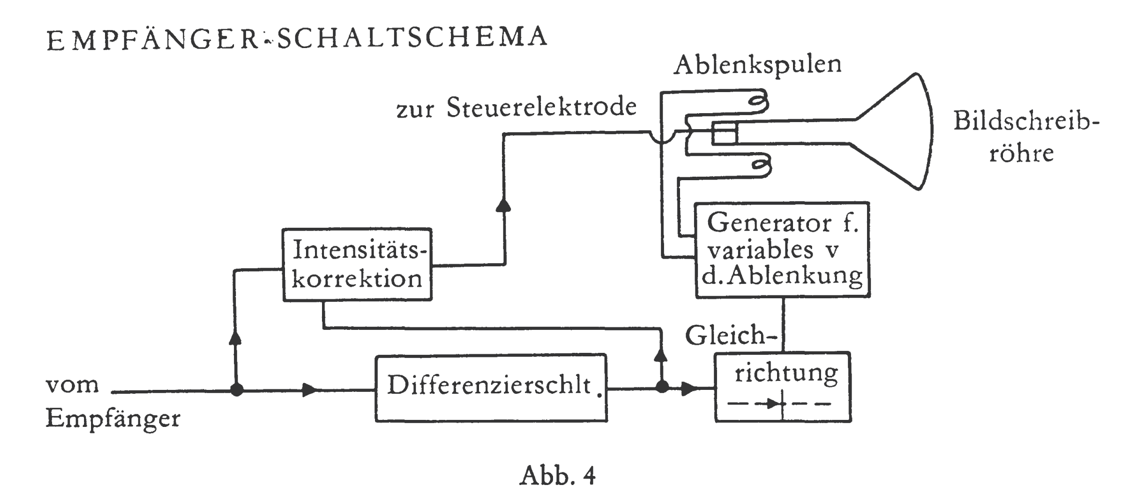


Abb. 4

und senderseits durch 1). Quantisierung, 2). Speicherung des treppenförmig gemachten Signals, 3.) Ableitung von gleich langen Impulsen aus diesem durch Differenzierung und 4). Begrenzung der Impulshöhe eine *Umcodierung* vorgenommen, bei der das Steuerkommando für die Verminderung der Abtastgeschwindigkeit allein an den Sprungstellen der Helligkeit entsteht. Es gibt dann für v nurmehr 2 bestimmte Werte, den übernormalen bei örtlich langsam veränderlichen Graustufen und den unternormalen bei

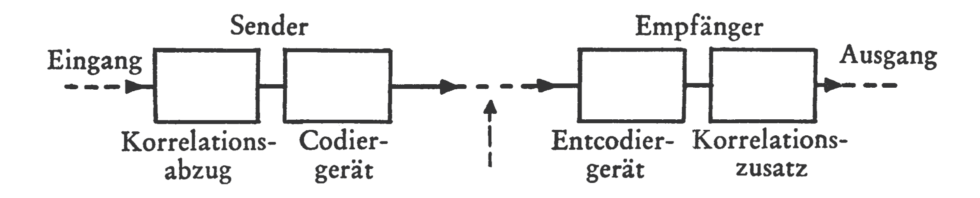
den Konturen. Das führt wiederum zur Frequenzbandverdünnung, indem für die Abtastung des Details Zeit gewonnen wird. Die physiologischen Mängel des Rasteraufbaus mit ungleichförmiger Schreibgeschwindigkeit könnten auch hierbei durch einen Überblendungsbildspeicher beseitigt werden, der die Störung durch die stetige Emission aller Bildpunkte ausgleicht und so eine ruhige Wiedergabe ohne Flackererscheinungen auf dem Empfangsleuchtschirm ermöglicht.

2) Vorhersagemethode (« prediction »)

Die Vorhersagemethode ist im *Bell*-Laboratorium von *E. R. Kretzmer* und *C. W. Harrison* für die Lösung des Frequenzbandproblems in Angriff genommen worden. Der Ballast, der die Kanalkapazität überflüssigerweise beansprucht, ist durch die Korrelation der Helligkeitsverteilung von Punkt zu Punkt, von Punktgruppe zu Punktgruppe und von Bild zu Bild gegeben. Auf Grund von optischen Messungen der Korrelation wurden verschiedene Methoden der Voraussage entwickelt und experimentell geprüft. Die Ergebnisse beweisen trotz der außerordentlichen Komplexität des Problems, daß die « prediction »-Methode, als logische Folgerung aus der modernen Theorie der Informationsübermittlung, auch praktische Aussichten hat. Da der Sender stets nur die Differenz zwischen der tatsächlich vorhandenen abgetasteten Bildpunkthelligkeit und deren durch Extrapolation vorausgesagtem Wert, d. h. also die Größe des Irrtums, als elektrische Korrekturamplitude auf den Empfangsbildspeicher zu übertragen hat, sinkt die mittlere Sendeleistung beträchtlich. Wird das Signal durch einen binären Impulscode (Gruppen von „Ja"- oder „Nein"-Impulsen, d. h. Amplitude 1 oder 0) ausgedrückt, so folgt aus der Wahrscheinlichkeitsverteilung in der Amplitudenskala die Möglichkeit, die Impulszahl für das einzelne Sendezeichen zu verkleinern. Die Methode ist also leistungs- und frequenzbandsparend.

Eine vollkommene Lösung dieser Art würde den Idealfall ergeben, nämlich die Verteilung der Sendeamplituden nach einer gewöhnlichen Fehlerkurve. Große Amplitudenwerte wären demnach sehr selten.

Zur Vorhersage der für einen Bildpunkt zu erwartenden Helligkeit kann man ein Kollektiv zuvor abgetasteter Bildpunkte heranziehen, deren Einzelwerte mit individuellen statistischen Gewichten, entsprechend dem Bildcharakter, multipliziert werden. Ebenso kann man dazu den Bildpunkt in der Nachbarzeile oder bestimmte Gruppen angrenzender Flächenelemente



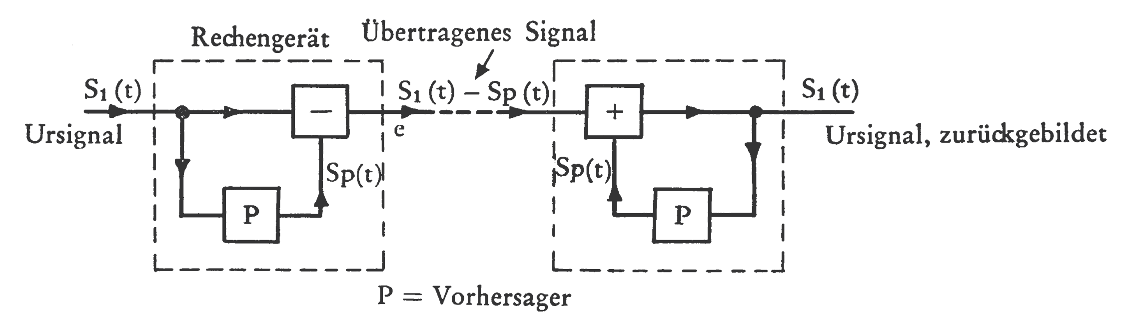


Abb. 5

benutzen. Die Abbildungen 5 und 6 zeigen das Prinzip und die Durchführung des Verfahrens bei der « linear prediction ». Ein Laufzeitorgan gestattet, die Signalimpulsfolge einer ganzen Zeile um deren Dauer (63,5 μsek. im US-Standard) zu verzögern. Dadurch wird es möglich, die Bildpunkte der folgenden Zeile, im richtigen zeitlichen Abstand individuell zur Wirkung gebracht, mit den ihnen entsprechenden der vorhergehenden Zeile statistisch zu kombinieren und so das Fehlersignal zu bilden. Als Laufzeitorgan und

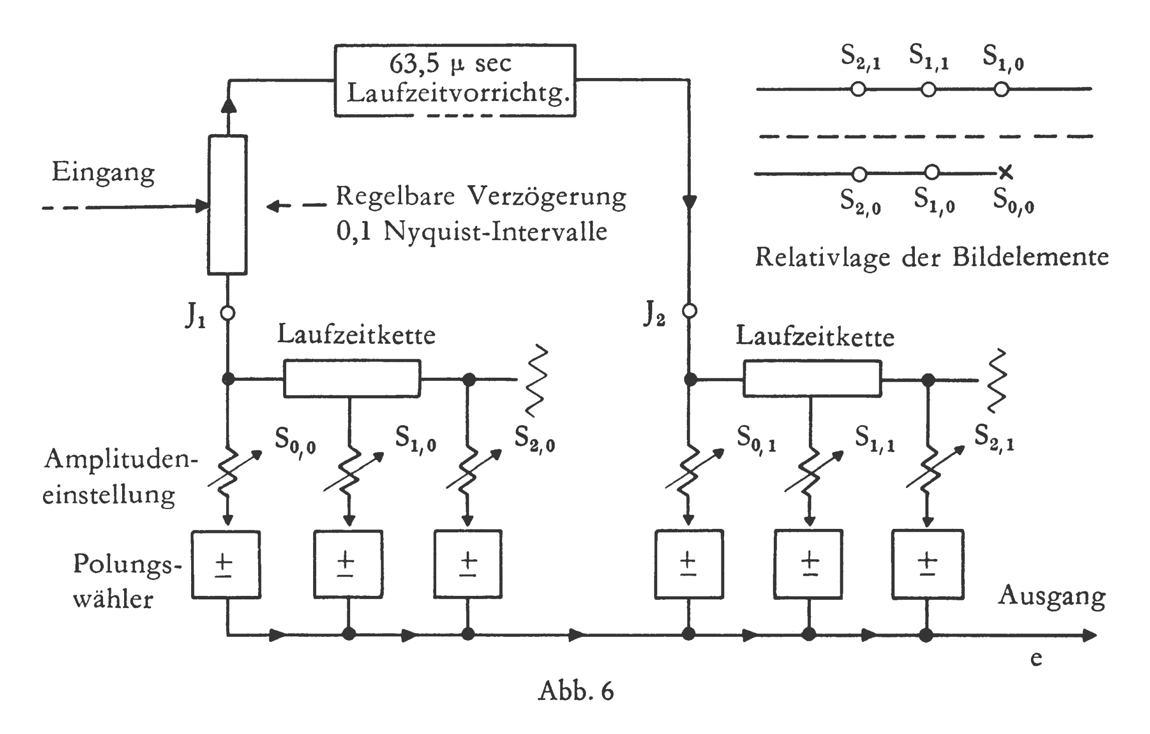


Abb. 6

Speicher diente ein aus geschmolzenem Quarz hergestellter, durch einen Schwingquarz erregter Stab.

Man erkennt aus diesen Angaben schon die Größe des Aufwandes, der empfangsseitig allenfalls am Ende einer Programm-Zubringerleitung zum Rundstrahlsender tragbar wäre. Es scheint vorläufig auch nur an diese Anwendung gedacht zu sein. Bei Rundstrahlung mit Sammelempfang käme das Verfahren lediglich für eine Art von gemeinsamem Zwischenspeicher in Frage, von dem aus die Verteilung mit normalen Mitteln erfolgt. Man könnte schließlich an den Einsatz beim *Fernsehsprechen* denken, dessen beschränkte und stereotype Bildfeldvariation im Verein mit der Langsamkeit der Bewegungen sich für die Vorhersagemethode besonders gut eignet. Gerade für diesen Fall ist die Frequenzbandbeschränkung eine lohnende Aufgabe, um Leitungen geringerer Frequenzdurchlässigkeit benutzen zu können.

Auf die *Verminderung der Amplitudenskala* zurückkommend, möchte ich noch darauf hinweisen, daß dieses Ergebnis für die UKW-Rundstrahlung mit vielfachem Einsatz der gleichen Trägerwelle von erheblicher Bedeutung werden könnte. Die mit dem Abnehmen der Amplituden verbundene Reduktion der in den Interferenzbereichen auftretenden Störfeldstärken würde es gestatten, die Dichte der Stationen, die im gleichen Kanal arbeiten, entsprechend zu vergrößern.

Dieser Vorteil kennzeichnet auch die nunmehr zu besprechende *Differenzbildmethode.* Ich habe darauf bei anderer Gelegenheit schon hingewiesen. Es ist dann nicht die im Mittel verkleinerte *Leistung,* sondern die *zeitliche Beschränkung* der Emission für die erzielbare Verbesserung maßgebend.

3) Differenzbildübertragung mit Geschwindigkeitsumschaltung

Die Einzelheiten dieses Verfahrens sind im Archiv der Elektrischen Übertragung, 1952, Februar, beschrieben. Ich will sie hier nicht sämtlich wiederholen, zumal ich das Prinzip schon bei dem Züricher Fernsehkongreß 1948 bekanntgegeben habe. Den Gedanken, nur die Änderungen der Bildpunkthelligkeit zu übertragen, hat, wie schon erwähnt, *R. D. Kell* bereits 1929 in einem britischen Patent beschrieben. Um eine Verdünnung der Bandbreite zu erzielen, mußte jedoch die Änderung der Abtastgeschwindigkeit hinzugefügt werden. Ich habe diesen Vorschlag 1936 unter Schutz gestellt; der Kriegsausbruch hat seine Durchführung verhindert. Vorausgesetzt wird die Lösung des Überblendungsspeichers und damit die Möglichkeit, unter Preisgabe des Zeilensprungverfahrens die sekundliche Bildzahl auf die stroboskopische Mindestfrequenz, also zweckmäßig auf $n = 16^2/_3$ sek.$^{-1}$, herabzusetzen.

Am Beginn der Übertragung wird ein vollständiges Bildpunktraster im Verlauf einer Sekunde beim Empfänger aufgespeichert. Von da ab strahlt der Sender Korrektursignale nur noch beim Abtasten solcher Punkte aus, die sich seit dem letzten Mal — also binnen 1/16²/₃ sek. — in ihrer Helligkeit geändert haben. In der übrigen Zeit werden keine Bildsignale gesendet, sondern allein die wenig Leistung beanspruchenden Gleichlaufimpulse. Ohne Steigerung der mittleren Leistung kann deshalb, da die Korrektursignale bei natürlichen Bildern relativ selten sind, die Momentanleistung des Senders erhöht, der Quotient *Signal: Rauschen* im Empfänger also verbessert werden.

Die Korrektursignale steuern im Überblendungs-Speicherempfänger die Helligkeit der betroffenen Bildpunkte trägheitslos um; sie haben aber eine zweite wichtige Funktion: ihr Auftreten schaltet, sender- und empfängerseits synchron, die Abtastgeschwindigkeit auf einen festgelegten unternormalen Wert, was dadurch ermöglicht wird, daß die überwiegend signalfreien Bildteile eine übernormale Abtastgeschwindigkeit zulassen. Der Sender strahlt also nur bei verminderter Schnelligkeit der Strahlablenkung, was einem proportional verschmälerten Frequenzband entspricht. Dessen Reduktion ist bis auf ~ ¹/₄ möglich.

Bezeichnet v_1 die übernormale, v_2 die unternormale Ablenkungsgeschwindigkeit der synchronisierten Kathodenstrahlen, so hängt das Verhältnis v_1/v_2 vom Grade der Korrelation ab. Je höher dieser ist, desto seltener treten Differenzbildsignale auf und desto mehr überwiegt längs des Abtastweges v_1. Damit ergibt sich der Zeitgewinn für die langsamere Ablenkung (v_2) an den Stellen, wo sich die Bildpunkthelligkeit geändert hat. Die mittlere Geschwindigkeit v_0 entspricht der klassischen bei n = 25 Bildern/sec. Es ist also $v_1 > v_0 > v_2$.

Für gleiche Auflösung wie bei der klassischen Übertragung ist das Bandbreitenverhältnis:

$$\sigma = \frac{K \cdot [\,100 - p \cdot (1 - v_1/v_2)\,]}{100\, v_1/v_2}$$

wo p den höchsten anzunehmenden Prozentsatz der von Bild zu Bild ihre Helligkeit ändernden Bildpunkte bedeutet. Der Faktor K hat den Wert ²/₃, wenn mit $n = 16^2/_3$ sek.$^{-1}$ gearbeitet wird, bzw. ¹/₂ bei Benutzung der erwähnten Verschachtelungsmethode (in ein Bild von der Dauer 1/12,5 sek. kann bei Benutzung von Speicherung jeweils die Hälfte der Bildpunkte eingeblendet werden, die in das nächstfolgende Intervall der mit 25 Bildern/sek. erfolgenden Aufnahme fallen) mit $n = 12^1/_2$ sek.$^{-1}$. Im letzteren Falle käme

man mit $p = 20\,\%$ und $v_1/v_2 = 2{,}5$ schon auf $\sigma \simeq 1/4$, und bei $p = 15\,\%$ und $v_1/v_2 = 3$ auf $\sigma = 0{,}217$.

Die Abbildungen 7 und 8 zeigen Schaltungen für Senden und Empfangen. Als Geber ist bei Filmübertragung der *Mechau*'sche Bildausgleichsprojektor mit umgekehrtem Strahlengang besonders geeignet, die Bildzerlegung erfolgt dabei mittels « Flying Spot »-Röhre (Braunsche Röhre, deren in Zeilen abgelenkter Lichtpunkt beim Abbilden auf einen Film zur Abtastung von dessen Helligkeitswerten dient, indem das hindurchgelassene Licht auf eine Photozelle wirkt) in einem auf dem Filmbild unabhängig von dessen Vorschubtempo feststehenden Raster, so daß die ungleichförmige Vertikalablenkgeschwindigkeit keine besondere Kompensation erfordert. Die Bildimpulse werden in einer mit Reihenschaltung der Ablenkfelder synchron zum Abtaststrahl betriebenen „Grid-Barrier-Storage"-Röhre gespeichert. Diese beruht auf dem Sekundärelektronen-Emissionsgleichgewicht (SE-Gleichgewicht). Moduliert man mit der Abtastspannung das vor dem Speicherschirm stehende, vom Kathodenstrahl durchsetzte Gitter, so stellt sich beim ersten Überfahren jedes Bildpunktes dessen SE-Gleichgewicht ein, und die Signalelektrode liefert am Ausgang einen der Helligkeit proportionalen Sendestromstoß. Hat sich bei der folgenden Abtastung des betr. Bildpunktes nichts geändert, erhält das Modulationsgitter also wieder die gleiche Spannung, dann bleibt auch das Speicherpotential konstant, und es tritt im Außenkreis kein neues Signal auf (Differenz Null). Ist hingegen die Helligkeit größer oder kleiner geworden, so nimmt die Aufladung des Punktelements unter Absaugen oder Rückstauen von Sekundärelektronen trägheitslos den neuen Gleichgewichtswert an, und es fließt im Ausgang wieder ein Strom. Dessen Stärke interessiert aber nicht, da sein Entstehen oder Ausbleiben hier nur dazu dienen, die Abtastgeschwindigkeit umzuschalten und den Modulator zu entsperren, sobald die Differenz von Mal zu Mal nicht mehr Null ist. *Übertragen* wird das von der Vervielfacher-Photozelle erzeugte Signal, also *nicht* die *Änderung* der Bildpunkthelligkeit, sondern ihr *richtiger Momentanwert*. Dies hat den eminenten Vorteil, daß im Empfangsbildspeicher akkumulierte, die Helligkeit fälschende Rauschamplituden, Streueinflüsse usw. immer wieder korrigiert werden, besonders wenn man durch Entblocken des Senders mit gleitender Phase während eines kleinen Bruchteils der Bilddauer dafür sorgt, daß trotz Differenz Null sämtliche Bildpunkte in langsamem Turnus sozusagen „aufgefrischt" werden.

Die Umsteuerung der Ablenkgeschwindigkeit geschieht in einer einfachen Ladepentodenschaltung; n bleibt dabei konstant. Die Zeilenwechsel werden

durch einen Elektronenzähler aufintegriert und regeln den Gang der vertikalen Ablenkung. Ist diese, früher oder später, beim Höchstwert angelangt, so wartet der Kathodenstrahl das Kommando für den Bildwechsel ab. Die Gleichlaufimpulse werden, ebenso wie die Differenzbildsignale, mit verschmälertem Frequenzband gesendet.

Die Geberschaltung nach Abb. 7 hat den Vorteil, daß an die Stelle der „Flying Spot"-Röhre ohne weiteres eine beliebige Kameraröhre für direkte Bildaufnahme treten kann.

Im Empfänger (s. Abb. 8) sind die Ablenkmittel die gleichen wie beim Geber; der Wechsel zwischen v_1 und v_2 hängt lediglich davon ab, ob Sendeenergie eintrifft oder nicht. Teil a veranschaulicht die Gesamtschaltung einschließlich der Überblendungs-Speicherbildröhre (1 bis 5); in b ist die Steuerung der Geschwindigkeitsumschaltung durch die Differenzbildimpulse schematisch erläutert. Hochfrequente „Fühlimpulse", die vom Überlagerer-Oszillator abgeleitet werden, sorgen mit ihrem vom Differenzbild abhängigen Auftreten leicht voreilend dafür, daß die Geschwindigkeits-Übergänge ohne Verzerrung der Bildgeometrie erfolgen. Die Speicherung geschieht wieder nach dem Barrier-Grid-Storage-Prinzip mittels Modulationsgitter, das nur wenige Volt Steueramplitude bei verschmälertem Frequenzband benötigt, also Verstärkung spart. Die gespeicherten Ladungen sitzen, als Potentialrelief, auf einer sehr dünnen Isolierschicht, die eine siebartige Photokathode hoher Ergiebigkeit rückseitig bedeckt. Deren beim Belichten mit ultraviolettem Licht stattfindende Emission wird auf der ganzen Bildfläche gleichzeitig durch den starken Durchgriff des Ladungsreliefs gesteuert und liefert auf dem Leuchtschirm des (in der Figur rechts anschließenden) Bildwandler-Projektionsteiles ein direktes flimmerfreies Überblendungsbild, weil die örtlichen Veränderungen in dem Potentialrelief auf- und abwärts ohne Unterbrechung vor sich gehen, sobald ein korrigierender Differenzbild-Impuls auftritt.

In der übrigen Zeit ist der Kathodenstrahl der Bildspeicherröhre ausgeschaltet; er wird also immer nur vom Differenzbildsignal entriegelt. Das ist mit Rücksicht auf schädliche Streu- und Ioneneffekte ein wesentlicher Vorteil der Methode. Der einzelne Bildpunkt bleibt auf dem Speicher- und auf dem Leuchtschirm völlig scharf, solange an seinem Orte der Kathodenstrahl gesperrt ist. Dessen Entsperrung erzeugt aber nur einen neuen, in seiner Intensität veränderten Bildpunkt gleicher Schärfe.

Mit den drei hier gebrachten Beispielen ist die Zahl der Versuche, das Fernsehbild durch Umcodierung in seinem Frequenzbandbedarf weniger

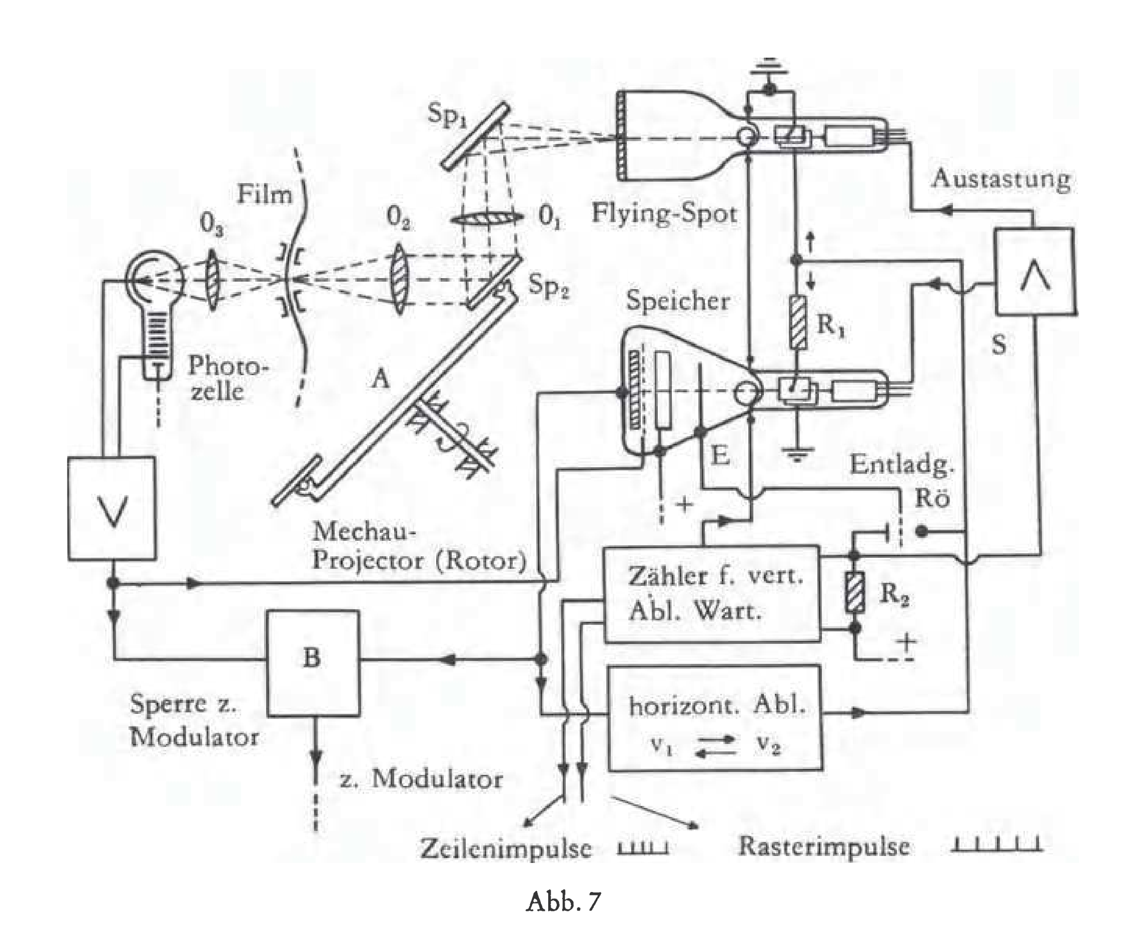

Sp1
Film
O3
O2
O1
Flying-Spot
Austastung
Sp2
Speicher
R1
S
Photo-
zelle
A
E
Entladg.
Rö
V
Mechau-
Projector (Rotor)
Zähler f. vert.
Abl. Wart.
R2
B
Sperre z.
Modulator
horizont. Abl.
v1 v2
z. Modulator
Zeilenimpulse
Rasterimpulse

Abb. 7

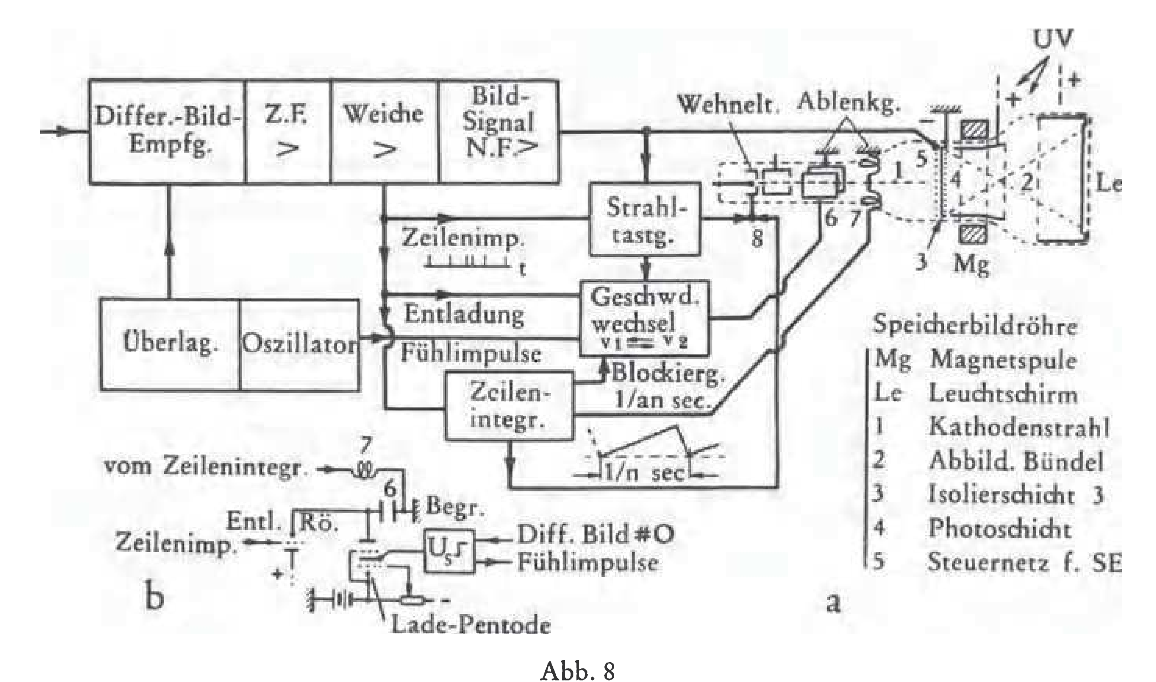

UV
Differ.-Bild-
Empfg.
Z.F.
Weiche
Bild-
Signal
N.F.
Wehnelt.
Ablenkg.
Le
Strahl-
tastg.
Zeilenimp.
Mg
Geschwd.
wechsel
v1 v2
Entladung
Speicherbildröhre
Überlag.
Oszillator
Fühlimpulse
Mg Magnetspule
Blockierg.
1/an sec.
Le Leuchtschirm
Zeilen-
integr.
1 Kathodenstrahl
2 Abbild. Bündel
vom Zeilenintegr.
1/n sec
3 Isolierschicht 3
Begr.
4 Photoschicht
Entl.
Rö
Zeilenimp.
Diff. Bild #O
Fühlimpulse
5 Steuernetz f. SE
b
Lade-Pentode
a

Abb. 8

anspruchsvoll zu machen, nicht erschöpft; aus Platzmangel soll jedoch auf weitere Vorschläge nicht eingegangen werden. Wenn eines der genannten Verfahren dazu führen würde, die Zahl der Fernsehkanäle in jedem normierten Bande zu verdreifachen, dann wäre den Bedürfnissen der Zukunft auf längere Sicht genügt, und es ergäben sich auch für das Farbfernsehen neue Möglichkeiten, etwa derart, daß die Bandbreiteersparnis dazu ausgenutzt wird, die Farbkomponenten nebenher in einem unabhängigen Kanal zu übertragen, statt sie, wie heute, in die spektralen Lücken des Schwarz-Weiß-Bildes auf besondere Weise einzuflechten (s. später).

Wir kommen nun zu den Entwicklungsfragen, die letzten Endes die wirtschaftliche Seite des Empfängers berühren.

4. *Empfängerfragen*

Die Problematik dieses Gebietes ist – auch bei Beschränkung auf reine Schwarz-Weiß-Übertragung – sehr komplex. Sie hängt ab von dem weiteren Verlauf der internationalen Normungsbestrebungen, von der Entwicklung der erwähnten *Dezentralisierungstendenz der Sender,* von den künftigen Möglichkeiten der Programmwahl, von der Technik der Hochfrequenzleitungen usw. Man kann sagen, daß die Dezentralisierungstendenz der Ausstrahlung in sich schon den Keim einer aufwandsparenden *Zentralisierung des Empfanges* – durch Zusammenfassen von Teilnehmern in Blocksystemen – trägt. Wir kommen sogleich darauf zurück.

Die Vereinheitlichung der europäischen Normen würde im Prinzip durch Standardisierung zahlreicher, leicht auswechselbarer Einzelteile die Durchführung der internationalen Gemeinschaftsentwicklung eines verbilligten Einheitsempfängers ermöglichen. Wir dürfen überdies von den Fortschritten der Transistoren, bei denen die Heizleistung entfällt, und von den Halbleiterdioden nicht zu vernachlässigende Einsparungen im Netzanschlußteil sowie in der Empfangsschaltung erwarten. Dioden, deren Germaniumschicht bald durch billige intermetallische Verbindungen ersetzt sein wird, lassen sich im Fernsehempfänger vielseitig verwenden, so zum Beispiel für die letzte Gleichrichtung der beiden Träger, als Filter für Störgeräusche im Tonkanal, als Trennmittel für die Bild- und die Gleichlaufimpulse, für die Schwarzsteuerung und Pegelhaltung, ferner im Zeilenablenkkreis und in Serienschaltung als Hochfrequenzgleichrichter. Dies kann einschließlich der Transistoren auch durch Raumersparnis zu fühlbarer Preisreduktion beitragen.

In den Großstädten mit ihren dichtbesiedelten Wohnzentren lassen sich bei weiterer günstiger Entwicklung des Gerätemarktes große Schwierigkeiten voraussehen, insbesondere nach Heranziehung der Dezimeterwellen für den Bildrundfunk. Hier liegt ein Problem vor, das wir bei *Telefunken* schon frühzeitig, vor dem 1. Weltkriege, erkannt und vorbereitend bearbeitet haben. Nach der Durchführung von Mehrfach-Fernsehsendungen wird dieses Problem in verschärfter Dringlichkeit wiederaufleben.

Es handelt sich um die Weiterentwicklung der Gemeinschafts-Antennenanlagen mit Richtungsselektion unter Ausnutzung der Fortschritte auf dem Gebiet der wellenführenden Hochfrequenzleitungen, eine Aufgabe, die angesichts der gegenseitigen Störungen zahlreicher *Einzelantennen* in Häuserblocks immer wichtiger wird. Der Blockempfang, ein heute schon ziemlich verbreitetes System, darf von diesen neuen Leitern, die in Gestalt dielektrischer Hohlrohre oder besonders geformter metallischer Leiter zur gerichteten Längsfortpflanzung von Zentimeterwellen im Prinzip sehr geeignet sind, im Zeitalter der Mehrfachprogramme mancherlei erwarten. Ich möchte deshalb auf neuere Erkenntnisse über Grenzradius und spezifische Dämpfung an isolatorüberzogenen Drähten nach *Harms-Goubau* oder an Wendeldrähten (Drahtbündel gewendelt auf dielektrischer Seele) hinweisen, wie sie aus folgender Tabelle hervorgehen: (Nach *H. Kaden*, F. T. Z. 1953, Heft 9, S. 437).

Wellenführender Leiter $\lambda = 12$ cm	Grenz-Radius ν_0/mm	Spez. Dämpfung N/km
Harms – Goubau, Cu 2 mm Ø mit Lupolen-Bandüberzug	182	3,4
Wendeldraht. 9mal Cu, 0,45 mm, Schlaglänge 20 mm, Styroflexkern, 1 mm Ø	200	5,0
do. 40 mm Schlaglänge	420	2,3

Die Anwendung dieser neuen, im Prinzip nicht kostspieligen Mittel setzt voraus, daß sie vor Kondensation von Regentropfen geschützt geführt werden. Vorzugsweise kommen später die dielektrischen Hohlleiter in Betracht, die hinsichtlich Dämpfung und Verlustwinkel noch günstiger erscheinen. Nach der Tabelle dürfen wir mit Kilometerreichweiten der Zentralverteilung rechnen wobei die Zentimeterwelle praktisch beliebige Frequenzbandbreite und die Übermittlung mehrerer Bildprogramme längs eines einzigen Drahtes gestattet.

Dieser wahrscheinlichen Zukunftstechnik für große Wohnsiedlungen kommt entgegen, daß heute Wanderfeldröhren, z. B. die von *R. Warnecke*

und Mitarbeitern entwickelten „Carcinotrons“, schon beachtliche Hochfrequenzleistungen in *Amplitudenmodulation* (Modulation des in die Verzögerungsleitung eintretenden Elektronenstrahls) abgeben können. Außerdem wird in nicht ferner Zeit mit solchen Röhren der direkte Frequenzumsatz einwandfrei möglich sein. Man stelle sich demnach vor, daß eine rundum ausgestrahlte Dezimeterwelle mit mehreren Hilfsträgern amplitudenmoduliert wird, von denen jeder ein Fernseh-Programm trägt. Die Sammelempfangs-Antenne nimmt das ganze Band auf, der Hauptträger wird des mit der Wellenlänge kleiner werdenden Grenzradius wegen in das Zentimeterbereich transponiert und über Leitungen der beschriebenen Art verteilt. Im angeschlossenen Heimempfänger erfolgt Diodengleichrichtung und ZF-Selektion der Programmbänder. Die Kosten der Gemeinschaftsanlage werden von zahlreichen Teilnehmern amortisiert, das Heimgerät kann, diese Belastung mehr als ausgleichend, verbilligt werden, bei beliebiger Wahl der Darbietung und sehr störungsfreier Wiedergabe. Wenn auch in diesem Zukunftsbild manche noch zu lösende Teilaufgabe enthalten und die hier angedeutete Methode sicher wandlungsfähig ist, scheint mir doch die Zentimeterwellentechnik in Verbindung mit den neuen Formen wellenführender Leiter berufen zu sein, derartige Verteilungsprobleme wirksam zu lösen.

Der Sammelempfang mit Verteilung durch die neuen wellenführenden Leiter wird mehrere Stadien seiner Entwicklung durchmachen: Solange die Herstellung von Überblendungsspeicherröhren, etwa nach Bild 8, technisch nicht beherrscht wird, bleibt die Sendung auf die klassische Methode der Bildabtastung und Bildschrift beschränkt, unter Inkaufnahme der hohen Redundanz und des infolgedessen sehr breiten Frequenzbandes. Aber die für eine spätere Zukunft zu erwartende Lösung des besagten Röhrenproblems bedeutet noch nicht die alsbaldige Umstellung der Heimempfänger. Man muß vielmehr damit rechnen, daß die plötzliche Entwertung vieler Millionen von Apparaten schlechterdings unmöglich ist. Der Verlauf wird daher vermutlich so sein, daß man zur Gewinnung weiterer Kanäle auf eine frequenzbandsparende Methode der *Rundstrahlung* übergeht, also z. B. einen Kanal von 7 MHz – unter Respektierung der übrigen, in denen die Sendung „klassisch“ weitergeht – in 2 oder 3 mit reduziertem Bande aufteilt, das in Zwischenumsetzern in Form von Speicherröhren aufgenommen wird und dazu dient, für die Blockverteilung über wellenführende Leiter das klassische Signal zurückzugewinnen. Als Ende dieser Entwicklung erscheint dann die Durchführung der Sendung von der Kamera bis zum Heimempfänger in der

bandsparenden codierten Form, unter Wiedergabe des Bildes durch eine Überblendungsspeicherröhre nach Art der Abb. 2 oder 8; eine solche Röhre würde vermutlich von tiefgreifender Wirkung sein auf die Methoden, nach denen diese Heimempfangsgeräte der Zukunft konstruiert und gefertigt werden.

Für die genannte Zwischenumsetzung in Blockzentralen (Zwischenrelais) bietet der Differenzbildspeicher bequeme Möglichkeiten. Abb. 9 gibt einen

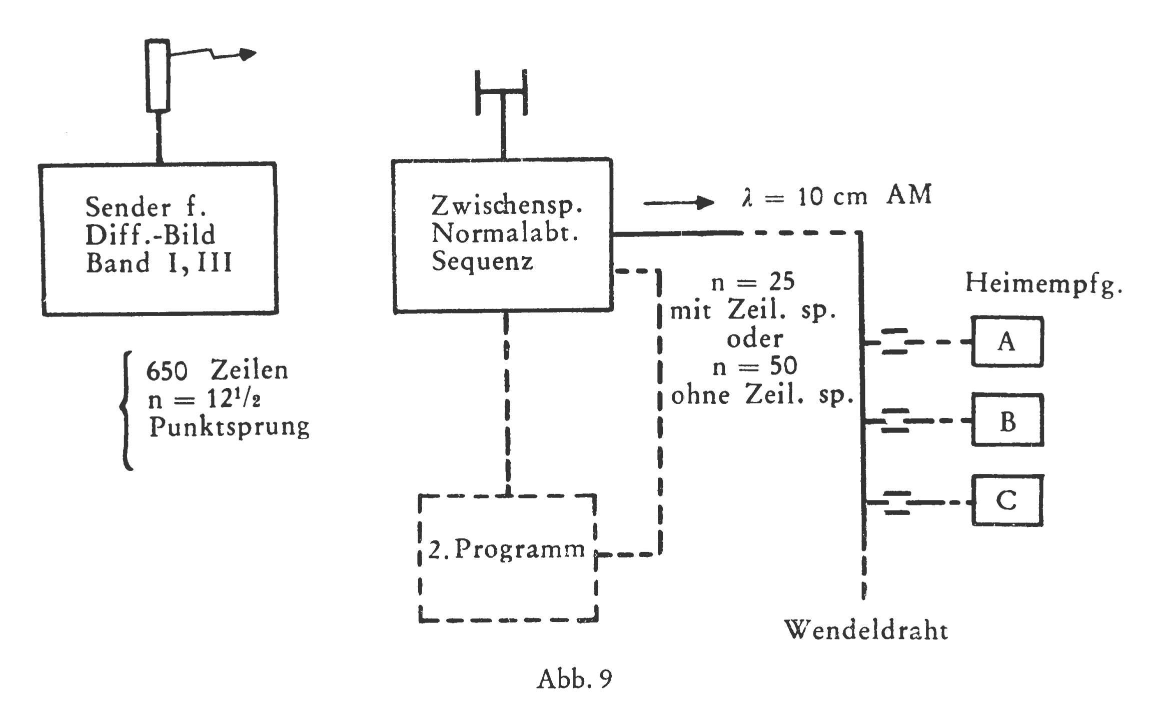


Abb. 9

Begriff davon. Der Rundstrahlsender arbeitet in den Bändern I oder III mit starker Bandverdünnung pro Kanal; vom Zwischenspeicher wird das Signal, indem man z. B. den Bildwandlerteil der Röhre als *Farnsworth*-Dissektor[6] mit Vervielfachung durch SE ausbildet, in klassischer Weise abgenommen und über die erwähnten Leitungen in Häuserblocks, vielleicht in ganzen Stadtvierteln verteilt. Die Heimempfänger funktionieren also wie heute; aber es würden sich dabei Vereinfachungen erzielen lassen. Diese Art der Anwendung wäre also angezeigt, bevor es gelingt, den Aufwand für

[6] Das von der gesteuerten Photoschicht 4 der Röhre nach Bild 8 ausgehende Elektronenbündel wird durch Ablenkfelder über eine „punktförmige“ Durchtrittsöffnung in normaler Zeilenrasterbewegung hinweggeführt. Nach Passieren der Öffnung durchläuft der ausgeblendete Elektronenstrom, der jeweils einem einzelnen Bildpunkt entspricht, ein System von Prallelektroden, an denen SE ausgelöst und so der Strom von Elektrode zu Elektrode vervielfacht wird.

die Schaltung und die Kosten der komplizierten Röhrenherstellung so weit zu verringern, daß auch an den Einbau der Speicherröhre für die unmittelbare Darstellung des Bildes im Heimempfangsgerät gedacht werden kann. Soweit sind wir heute nicht. Ich gebe zu, daß dieses Projekt stark optimistisch ist. Aber das Können der Technik wächst bekanntlich mit der Zeit exponentiell.

Was die Elemente des Heimempfangsgerätes angeht, so steht die Entwicklung der Bildschreibröhre mit über 60 cm Bilddiagonale wohl am Ende der glastechnischen Möglichkeiten. Die in den USA erschienene kombinierte Glas-Metallröhre ist für Schwarz-Weiß-Übertragungen nur noch wenig im Gebrauch, offenbar infolge vakuumtechnischer Schwierigkeiten. Man strebt nach neuen Formen, um damit zugleich die Herstellung noch größerer Bildflächen in die Hand zu bekommen, ohne daß das Gesamtvolumen der Röhre zunimmt. Diese Entwicklung führt zu Kuriositäten, wie z. B. zu der als flacher Kasten ausgebildeten Form nach Abb. 10. Hier sitzt der Elektronen-

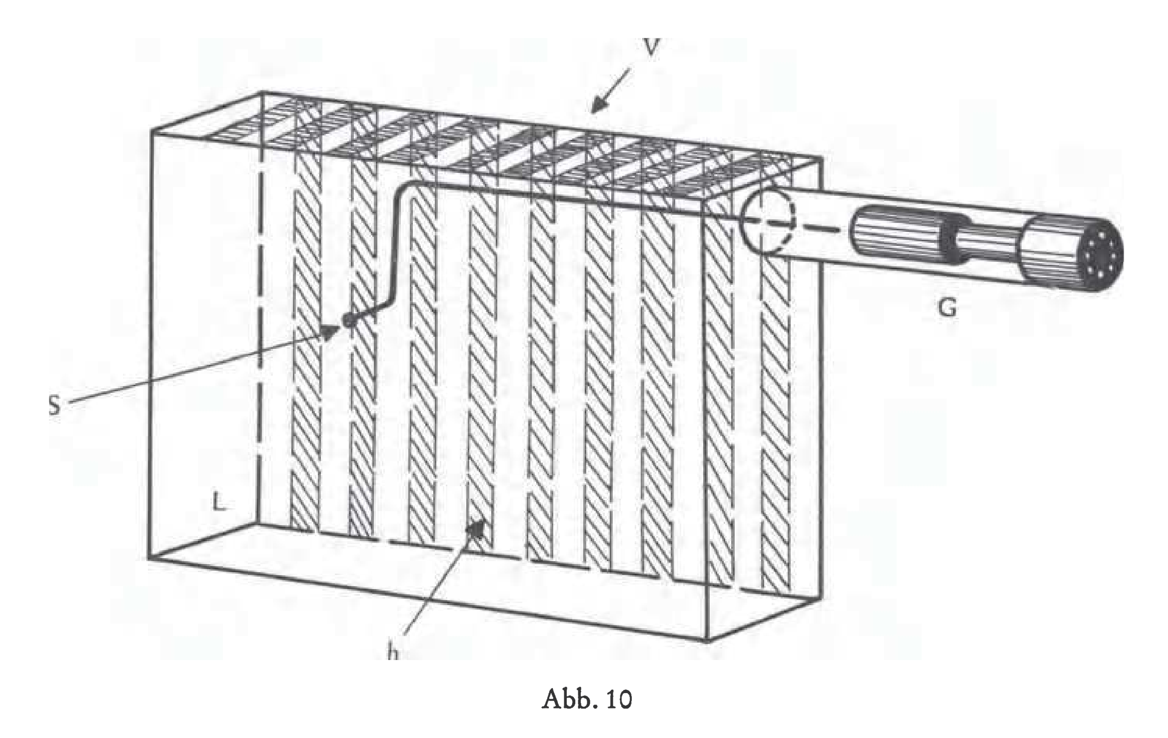


Abb. 10

strahler G seitlich in einem Rohransatz, der Leuchtschirm L bedeckt die flache Vorderwand, der Elektronenstrahl wird zweimal rechtwinklig umgelenkt, bevor er die Fluoreszenzschicht trifft (im Punkte S). Die Metallstreifensysteme v und h, denen bestimmte periodische Ströme zugeführt werden, sollen die Strahlumlenkung und Schreibbewegung steuern. Einzel-

heiten sind darüber nicht bekanntgegeben worden, wie denn überhaupt das Ganze vom Standpunkt des Elektronenoptikers aus recht fragwürdig erscheint.

Wesentlich ernster zu nehmen ist der in Abb. 11 veranschaulichte *Elektrolumineszenz*-Effekt. Eine dünne Schicht Leuchtphosphor Ph befindet sich zwischen zwei Kondensatorelektroden E_1, E_2 eingeschlossen, deren eine (E_1)

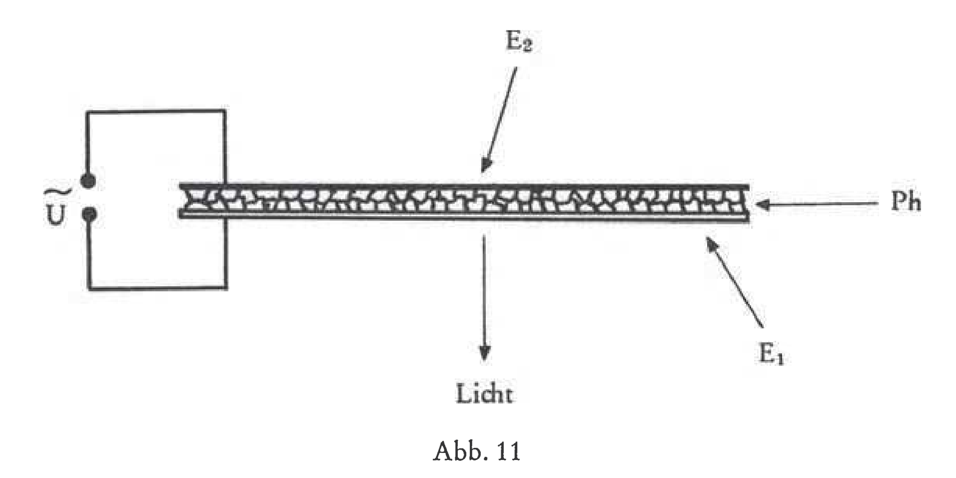


Abb. 11

dem Lichte den Austritt gestatten muß (sehr dünner Metallüberzug). Zwischen E_1 und E_2 liegt ein von der Spannungsquelle U erzeugtes elektrisches Wechselfeld der Größenordnung 10^4 V/cm. Wird die Phosphorschicht Ph durch die periodische dielektrische Polarisation mit genügender Frequenz angeregt, so beginnt sie zu leuchten. Eine Fläche von 1 m^2 kann dabei etwa 60 NK liefern, was für einen Fernsehschirm dieser Größe als völlig ausreichend erscheint. Wie dieses Leuchten jedoch punktweise zu steuern wäre, ohne einen untragbaren Aufwand an Umschaltmitteln zu erfordern, steht dahin. Man kann nun freilich unter die rückseitige Elektrode E_2 noch eine dünne lichtelektrische Halbleiterschicht legen und diese durch ein aufprojiziertes Bild erregen, das mit einer gewöhnlichen Braunschen Empfangsbildröhre erzeugt wird. Es ändert sich dann die örtliche Leitfähigkeit der Halbleiterschicht der Bildhelligkeit entsprechend, und da diese Schicht im elektrischen Stromkreise einen Vorschaltwiderstand darstellt, wird der Stromdurchgang durch die Leuchtstoffzwischenlage bildgetreu dosiert. In ähnlicher Weise wirkt beim Weglassen des Halbleiterüberzuges das direkte Aufprojizieren eines ultravioletten Empfangsbildes; dieses erscheint auf solche Weise *verstärkt* (je Lichtquant im UV werden 10 Lichtquanten sichtbarer Strahlung ausgelöst, das Ganze bildet also eine Art Relais). Der vorläufig unbehobene Nachteil dieser interessanten Anordnung ist die große,

über 1 sek. betragende Zeitkonstante des Nachleuchtens der Phosphorschicht, ein störendes Phänomen, das zur Verwaschung aller Bewegungen im Fernsehbilde führen müßte. Doch ist es durchaus denkbar, daß dieser Mangel durch weitere Forschungen beseitigt wird.

Für die Wiedergabe in Kinoschirmformat reicht das Elektrolumineszenzbild, soweit man heute sieht, nicht aus. Die sog. Fernseh-*Großprojektion* blieb bis vor einigen Jahren auf die Braunsche Röhre angewiesen. Man baute diese in Spezialausführungen für hohe Spannung – bis zu 80 kV – und beträchtliche Stromstärken im Elektronenstrahl – bis zu einigen mA –, arbeitete mit korrigierten Abbildungsspiegeln von sehr großer Öffnungsweite (*Schmidt*-Optik), mit Bildwänden von ausgesprochener Richtwirkung, die das reflektierte Licht weitgehend nur in den Nutzraum (Raumwinkel der Zuschauerplätze) zurückwerfen, und erzielte so leidlich gute Leuchtdichten auf Schirmen von maximal etwa 30 m². Für die heutigen gesteigerten Anforderungen ist das ungenügend, insbesondere bei Hinzukommen der farbigen Bildwiedergabe, die lichtschluckende Filter notwendig macht. Hier ist nun das erwähnte *Eidophor*-Verfahren von *F. Fischer* der bisher einzig sichtbare Ausweg. Ein vom Fernsehsignal modulierter, in üblicher Weise abgelenkter Elektronenstrahl trägt auf einer speichernden Ölschicht das bildgetreue Ladungsrelief auf. Dieses bewirkt durch elektrostatische Kraft eine Aufwölbung der Öloberfläche, und zwar bei geeigneter Steuerung der Strahlbewegung (Transversalsteuerung, „Pilgerschritt") in Form minimaler Wellen, die in einem optischen Strahlengang als Beugungsgitter fungieren. Abb. 12 zeigt das Schema des Eidophorprojektors, der im Grunde nichts anderes darstellt, als die den Physikern wohlbekannte Schlierenoptik. In diesem Bilde sehen wir bereits die Einschaltung einer Farbfilterscheibe 3, auf die der nächste Abschnitt eingehen wird; von ihr sei hier noch abgesehen.

Das Licht einer Intensivbogenlampe wird durch den Spiegel 1 auf ein Fenster 2 konzentriert und beleuchtet mittels des Objektivs 4 ein schräges Barrensystem 5, bestehend aus einer regelmäßigen Folge von Speichen und Lücken etwa gleicher Breite. Infolge Verspiegelung von 5 gelangt das Licht auf den langsam rotierenden Hohlspiegel 7, der das Barrensystem auf sich selber abbildet. Dies geschieht so, daß durch die Lücken von 5 kein Licht in den Projektionsweg, gebildet aus dem Objektiv 10, dem Umlenkspiegel 11 und dem Bildschirm 12, eindringen kann, falls eine ganz dünne, den Hohlspiegel 7 bedeckende Ölschicht völlig glatt bleibt. Schreibt aber der erwähnte Elektronenstrahl, durch die magnetische Linse 6 scharf auf 7 fokussiert, das Zeilenraster 8 in Form oberflächlicher negativer Beladungen

des Öles, so tritt als Folge von dessen welliger Kräuselung Aberration und Abbeugung von Licht ein, und es kann nun ein mehr oder weniger großer Anteil des verfügbaren Lichtstromes durch die Lücken von 5 hindurch zum Bildschirm gelangen; d. h. das Objektiv 10 bildet die Ladungsverteilung von

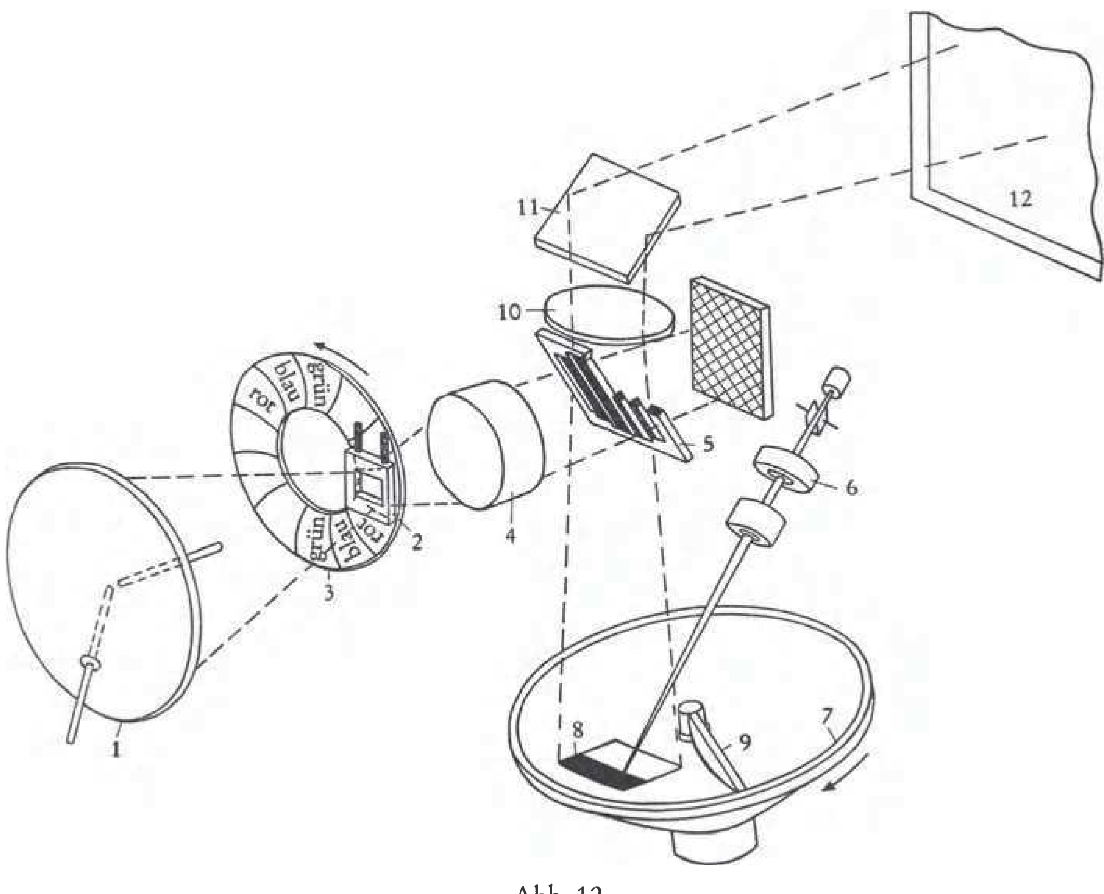


Abb. 12

8 als Hell-Dunkelverteilung auf 12 ab. (Wir haben hier den Vorgang nur in großen Zügen betrachtet; wichtige Einzelheiten sind aus Raumgründen unerwähnt geblieben.) Naturgemäß befinden sich die Teile 5, 6, 7 im Vakuum, das durch eine leistungsfähige Pumpe dauernd aufrechterhalten wird. Da die viskose Flüssigkeit als Ganzes im Eidophor unter dem Einfluß statischer Kräfte keilartig verformt wird, muß mit Hilfe der langsamen Spiegeldrehung (7) stets neues Öl in die Schreibzone hineingeführt werden; eine Schneide 9 glättet die Oberfläche kurz vor der Beschriftung.

Während die Braunsche Hochvoltröhre mit *Schmidt*-Optik als *Selbstleuchter* in der Belastungsfrage auf Schranken stößt, eben weil der Leuchtschirm selber das notwendige Licht zur Projektion aufbringen muß, gestattet

das Eidophor-Empfangsgerät den Durchgang weit stärkerer Lichtströme, die von einer unabhängigen Quelle geliefert werden und deshalb grundsätzlich viel weniger begrenzt sind (sog. *Fremdlichtsteuerung*). Der Ölfilm hat die Aufgabe, die Menge des durchfallenden Lichtes örtlich zu steuern. Er tut dies aber dank seiner speichernden Wirkung mit besonders hohem optischen Nutzeffekt, denn die Rückkehr der gekräuselten Oberfläche des Öles in den glatten Zustand beansprucht einen erheblichen Bruchteil der Bilddauer, verlängert also und verstärkt daher auch die Lichtwirkung im Auge.

Um einen Vergleich zu geben, seien einige Zahlen angeführt. Ein Bildschirm von 50 m^2 Fläche mit 80 % Rückstrahlung benötigt, falls er mattweiß reflektiert (*Lambert*sches Gesetz) für eine scheinbare Leuchtdichte von 100 asb (Apostilb) 6000 Lumen. Eine Braunsche Hochvoltröhre mit großem Spiegel und *Schmidt*-Optik müßte dann bei 30 % Wirkungsgrad derselben etwa 20 000 Lumen abgeben. Rechnet man dabei mit 20 bis 30 Lumen/Watt Ergiebigkeit des Leuchtphosphors, so bedeutet dies den Umsatz von 0,7 bis 1,0 kW in der Leuchtstoffschicht. Man ist dabei an der Grenze des technisch Vertretbaren angekommen. Beim Eidophor werden an der Ölschicht Bruchteile von 1 W umgesetzt und damit auf der Bildwand selber Lichtströme von 20 000 Lumen erzielt, falls eine Bogenlampe von besonders großer Leuchtdichte (Blasbogen, „Ventarc"-Bogenlampe) benutzt wird. Diese imponierende Leistung ist es auch, die nach Abb. 12 die Anwendung für Farbfernsehen ermöglicht, das ja in jeder Form zusätzliche Einbuße an Licht bedingt.

Andere Verfahren der Fremdlichtsteuerung (Scophony-System, Blauschriftröhre) haben sich auf die Dauer, für Fernsehen mit hochzeiliger Wiedergabe, nicht bewährt; sie seien, ebenso wie die Leuchttableaus, die aus zahlreichen umschaltbaren Lampen bestehen und allein für Sonderzwecke in Betracht kommen, hier nur beiläufig erwähnt. Sie sind, im Gegensatz zum Eidophorprinzip, das ein aussichtsreiches Objekt modernster Forschung und Entwicklung ist, nicht mehr Gegenstand einer systematischen weiteren Durchbildung.

Bezüglich der Schaltungstechnik des heutigen Fernsehempfängers gilt, daß dieser bereits ein ausgeklügeltes Minimum an Aufwand darstellt, mit dem die Qualität der durch die Zeilennormung definierten Auflösung eben noch erreicht werden kann. Große Fortschritte sind hier nicht mehr zu erwarten. Die Bestrebungen der letzten Jahre waren stark darauf eingestellt, den Einfluß der Störschwankungen (Rauschen) auf die Schärfe des Zeileneinsatzes

zu beseitigen. Man ist so zu allgemeinem Gebrauch der sog. „Schwungradschaltungen“ gekommen. Nicht jeder einzelne, durch das überlagerte Rauschen zeitlich unscharf werdende Zeilensynchronisierimpuls bestimmt den Anfangspunkt der Zeile, sondern es sorgen für regelmäßigen Einsatz aller Zeilen, also für einen glatten Bildrand und bessere Bildschärfe, die streng periodischen, einem örtlichen Generator im Empfänger entnommenen, auf die Ablenkschaltung wirkenden Steuerimpulse, während es Aufgabe der vom Sender übertragenen Gleichlaufimpulse ist, Frequenz und Phase des örtlichen Generators durch eine Spannung zu regeln, die vom zeitlichen Mittelwert der empfangenen Zeichen, aber nicht von jedem einzelnen derselben abhängt. Die Mittelung erfolgt über einen genügenden Zeitraum, um den Einsatzfehler praktisch zum Verschwinden zu bringen. Das Verfahren ist sehr wirksam und in vielerlei Variation durchgeführt.

Wo im Fernsehbilde scharfe Hell-Dunkelübergänge auftreten, z. B. in Gestalt von Konturen, liefert der Abtaster die höchsten Signalfrequenzen. Die verminderte Schärfe der empfangsseitigen Wiedergabe solcher Bildstellen beruht auf der tatsächlichen Ausdehnung des abtastenden und des schreibenden Elektronenstrahlquerschnitts sowie auf der begrenzten Freqrenzdurchlässigkeit des Übertragungskanals. Neuerdings versucht man, diese Einbuße wettzumachen, indem man dem steuernden Spannungsverlauf künstliche positive und negative Echos desselben in passender Dosierung überlagert. Es gibt dafür verschiedene Ausführungsmöglichkeiten, die durchweg überzeugende Wirkung haben. Im Grunde ist das Verfahren alt, nämlich vorweggenommen durch Differenzierung des Signals, das sich als eine stetige Zeitfunktion S(t) darstellt, und phasen- und amplitudenrichtige Überlagerung des Quotienten dS(t)/dt über das Ursignal selber. Man nennt das in den USA „crispening“ und macht davon vorzugsweise beim Farbfernsehen Gebrauch. Schon in den dreißiger Jahren schlug *R. Urtel* vor, für die künstliche Verschärfung der Konturenwiedergabe im Empfänger die Geschwindigkeitsmodulation heranzuziehen, indem er eine Hilfsablenkung des Elektronenstrahls in Zeilenrichtung einführte. Der wellenförmige Verlauf des dS(t)/dt sollte der normalen gleichbleibenden Horizontalbewegung des Lichtpunktes so überlagert werden, daß die resultierende Ablenkgeschwindigkeit zunächst vergrößert und später ausgleichend verkleinert würde. So mußte sich der Helligkeitsübergang in einer verschmälerten Zone abspielen, die Kontur also schärfer erscheinen. Dabei sollte die Geschwindigkeitsmodulation noch insofern mitwirken, als die Helligkeit in der Phase der Ablenkbeschleunigung vermindert und in der Phase der

Bremsung zusätzlich verstärkt wird. Abb. 13 zeigt den Effekt. B_s sei eine sinusförmige Steuerfunktion der Wellenlänge s. Lenken wir den bildschreibenden Lichtspalt bei konstanter Intensität desselben mit einer Geschwindigkeit v ab, die dem Verlauf von B_s folgt, so ergibt die Reziprozitätsbeziehung zwischen v und der dadurch erzeugten resultierenden Leuchtdichte B_e die gestrichelte Kurve mit der starken Übersteigerung der

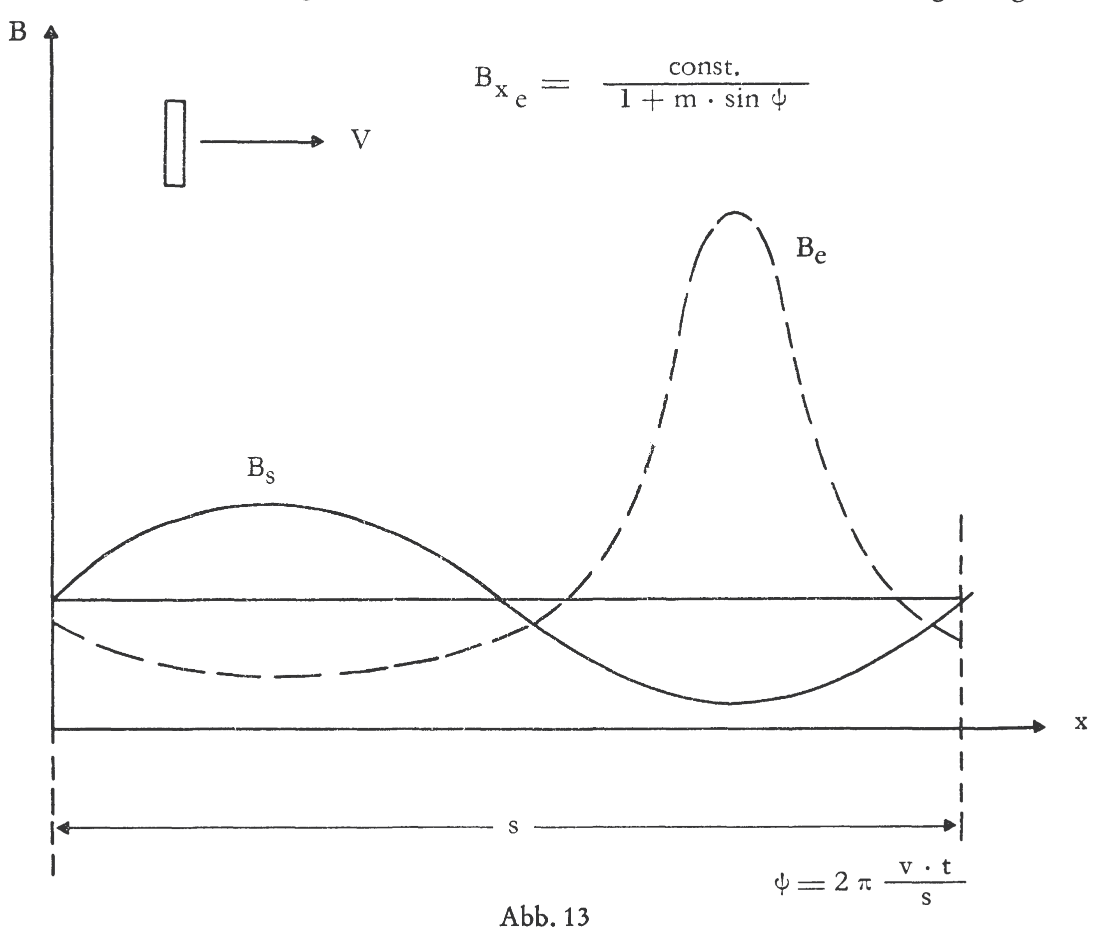


Abb. 13

Helligkeit in der negativen Halbwelle der Schreibgeschwindigkeit. In der Beziehung für das von x abhängige B_{xe} bedeutet m den Modulationsgrad der mittleren Größe von v. Man versteht beim Anblick der Figur sofort die Verformung des Helligkeitsüberganges und die Zusammendrängung des Aufhellungseffektes auf eine im Verhältnis zu s schmale Zone.

Als Folgerung ergibt sich die Möglichkeit automatischer Kompensation der Verunschärfung von Hell-Dunkel-Sprüngen im Empfangsbilde. Man kann immer dann, wenn am Ausgang eines Hochpasses die Grenzfrequenz $\triangle f$ auftritt, auf das Vorhandensein einer schroffen Kontur im Original-

bilde schließen. Macht man von diesem Erscheinen das Einsetzen einer der normalen Horizontalbewegung überlagerten sinusförmig verlaufenden Zusatzablenkung kleiner Amplitude abhängig, so muß auch ohne Differenzierung des Empfangssignals S(t) die aus Abb. 13 ersichtliche Drängung des Helligkeitsanstiegs, also Konturenverschärfung, entstehen. Bei den Frequenzen unterhalb $\triangle f$ läßt der Hochpaß nichts durch, so daß der dargestellte Mechanismus außer Funktion bleibt; er wird dann ja auch nicht benötigt.

Alle diese unter dem Begriff des „crispening“ zusammengefaßten Kunstgriffe haben in jüngster Zeit für die Verbesserung der Horizontalauflösung im Empfangsbilde erhebliche Bedeutung erlangt; ihre Entwicklung geht weiter, und zwar in enger Fühlung mit den Problemen der Frequenzbandverengung überhaupt, insbesondere in Anlehnung an die Differenzbild- und die Vorhersagemethode.

5. *Farbenfernsehen*

Der Vorschlag, nach dem Beispiel des Farbdrucks beim Fernsehen drei getrennte „Farbauszüge“ (z. B. Rot, Grün, Blau) des Urbildes zu übertragen, wurde schon 1902 von O. *von Bronk* gemacht. Heute benutzen wir im Grunde das gleiche Schema, freilich in verfeinerter Form der nachrichtentechnischen Durchführung. In den USA ist das NTSC-System bereits eingeführt (NTSC = National Television Standards Committee). Die Durchbildung seiner äußerst raffinierten Methode stand von Anfang an unter der Forderung der „Compatibility“ und „Recompatibility“, bedingt durch die Rüchsicht auf die vielen Millionen von bereits im Gebrauch befindlichen Schwarz-Weiß-Fernsehempfängern, die man nicht mit einem Schlage wertlos machen kann. Man mußte also bei dem normierten Zerlegungs- und Synchronisierungsschema – 525 Zeilen, 30 Bilder/sek. mit Zeilensprung – bleiben und durfte außerdem in Anbetracht der Wellenknappheit die Breite des Schwarz-Weiß-Fernsehkanals – in den USA auf 6 MHz festgesetzt – nicht überschreiten. Es war des weiteren klar, daß die Farbkomponenten in das ausgesandte Frequenzband auf eine Weise hineinpraktiziert werden mußten, die sich im Schwarz-Weiß-Gerät nicht störend und qualitätsmindernd bemerkbar macht („compatibility“). Andererseits war es notwendig, daß der Farbempfänger eine reine Schwarz-Weiß-Sendung als solche einwandfrei wiedergibt („recompatibility“). Alle diese einengenden Bestimmungen hatte man beim NTSC-System zu beachten. Die gefundene Lösung

ist beachtlich, technisch höchst geistvoll, aber nicht frei von grundsätzlichen Mängeln. Sie beruht auf der von *P. Mertz* und *F. Gray* 1934 aufgestellten Bildzerlegungstheorie, die zu fundamentalen Erkenntnissen über den Bau des Fernseh-Frequenzspektrums geführt hat.

Nach dieser experimentell bestätigten Theorie ist das Spektrum des Fernsehsignals eine regelmäßige Folge von Maxima und Minima der übertragenen Energie, wobei der Abstand zweier benachbarter Maxima durch die Zeilenfrequenz f_z gegeben ist. An den Punkten f_z, $2f_z$, $3f_z \ldots kf_z$, wenn k die Zeilenzahl bedeutet, konzentriert sich die das Empfangsbild steuernde Leistung; bei $\frac{1}{2}f_z, \frac{3}{2}f_z, \frac{5}{2}f_z, \ldots \frac{2k-1}{2}f_z$ ist sie Null. Beiderseits jeder derartigen Spektrallinie liegen, mit der Entfernung von ihr in der Amplitude rasch abnehmende sog. Nebenlinien, die von der vertikalen Helligkeitsverteilung im Bilde herrühren und untereinander konstanten Abstand gleich der Bildwechselfrequenz n aufweisen (n in Europa = 25 sek.^{-1}). Im ganzen handelt es sich also um ein regelmäßiges *Bandenspektrum,* das in den Lücken bei $\frac{1}{2}f_z, \frac{3}{2}f_z$ usw. leer ist. Schon *Gray* hatte frühzeitig vorgeschlagen, diese Lücken zur unabhängigen Übertragung anderer Nachrichten oder Signale auszunutzen, und *Dome, Loughlin* u. a. haben von diesem Gedanken für die gleichzeitige Übermittlung der Farbinformation neben der reinen Helligkeitsmodulation Gebrauch gemacht.

Es würde hier zu weit führen, das NTSC-Verfahren in allen Einzelheiten zu beschreiben, zumal eine sehr ausführliche Literatur darüber vorliegt. Wir können auch nicht auf die Vorstufen der Entwicklung dieses Verfahrens zurückkommen; es genüge, die physiologischen und übertragungstechnischen Grundlagen anzuführen, die Gemeingut der durchschrittenen Entwicklungsreihe sind, nämlich:

1) die im Vergleich zu Weiß und Grün wesentlich geringere Sehschärfe unserer Augen für Rot und besonders für Blau. Das wirkt sich beim Farbfernsehen dahingehend aus, daß wir für die Übertragung der entsprechenden Komponenten ein bedeutend schmäleres Frequenzband der Modulation benötigen als für die schwarz-weiße Helligkeitsverteilung;

2) da im grünen Teil des sichtbaren Spektrums die höchste Empfindlichkeit unseres Gesichtssinnes liegt, die Leistungseinheit dort also das größte Helligkeitsäquivalent liefert, kann man die Grünkomponente des Bildes ohne merklichen Fehler mit seiner Helligkeitsverteilung identifizieren. Diese ergibt das sog. „Luminanzsignal“, das im Schwarz-Weiß-Empfänger eine gute

(orthochromatische) Reproduktion der Hell-Dunkel-Unterschiede gestattet. Umgekehrt läßt sich aus dem Luminanzsignal der Grüngehalt für die Wiedergabe des farbigen Bildes im Empfänger entnehmen;

3) jede Farbe ist außer durch ihre Helligkeit (Luminanz) durch *Farbton* und *Sättigung* gekennzeichnet; beide Kriterien bilden zusammen das „Chrominanzsignal". Je gesättigter ein bestimmter Farbton ist, desto geringer ist sein Weißgehalt, desto mehr entfernt sich sein „Farbort" im Farbdreieck vom Weißpunkt. Wird der Grüngehalt, wie beschrieben, als Luminanzsignal durch den normalen Helligkeitsträger übermittelt, so beschränkt sich das Chrominanzsignal auf die rote und die blaue Farbkomponente.

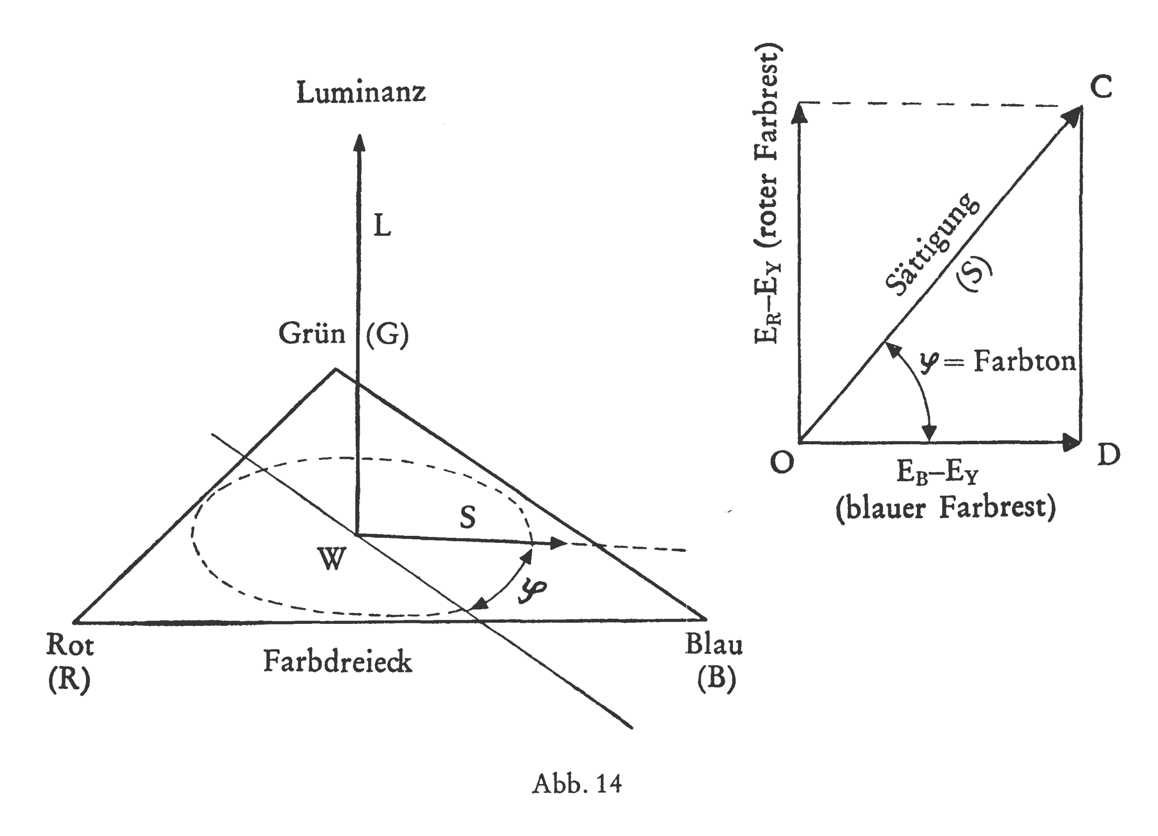


Abb. 14

Man kann sich hiernach vorstellen, daß die nachrichtentechnische Form der Farbübertragung der Abb. 14 entsprechen wird, wobei wir von der schaltungstechnischen Durchführung des Verfahrens absehen: Im Weißpunkt W des Farbdreiecks R, G, B ist ein Lot L errichtet, dessen jeweilige Höhe das Luminanzsignal darstellt. Um den Fußpunkt von L kreist ein Vektor S, das Chrominanzsignal. Die Länge von S gibt den Sättigungsgrad, sein Phasenwinkel φ (bezogen auf eine feste Achse) den Farbton an. Beide Größen müssen wir in einem besonderen Kanal neben der Luminanz

übertragen, die zugleich den Grüngehalt ausdrückt. Dies geschieht nach der Methode des in die spektralen Lücken des Luminanzspektrums „eingeblendeten“ *Hilfsträgers* (subcarrier). Seine Frequenz muß n. V. zwangsläufig ein ungerades (und hohes) Vielfaches der halben Zeilenfrequenz sein. Da dieser Hilfsträger ebenso wie der Luminanzträger ein Spektrum besitzt, das Maxima im Abstand der Zeilenfrequenz hat, fallen die letzteren genau in die Mitten zwischen den Hauptlinien des Spektrums der Schwarz-Weiß-Modulation. Dies bewirkt infolge der ungeraden Zeilenzahl des Bildes, daß die Steueramplitude der Energie des Hilfsträgers sich abwechselnd mit positiver und negativer Phase der Schwarz-Weiß-Information überlagert, und da das Auge über mehrere aufeinander folgende Intensitätswerte nach dem *Talbot*'schen Gesetz mittelt, wird die Wahrnehmung des Hilfsträgers im Schwarz-Weiß-Empfänger herauskompensiert. Dieser bemerkt also nichts von der Zusatzenergie und erhält ein vollwertiges unfarbiges Bild; denn die Helligkeitsmodulation wird als solche mit der vollen Frequenzbandbreite, die der Kanal zuläßt, übertragen (die „compatibility“ ist also erfüllt). Wir werden allerdings im folgenden dazu einiges Einschränkende sagen müssen.

Das Vektordreieck OCD in Abb. 14 rechts oben erläutert die doppelte Modulation des Hilfsträgers nach Amplitude S und Phase φ. Nach Abzug der Grünkomponente E_Y verbleiben im Signal der Farbaufnahmekamera ein roter oder ein blauer Farbrest ($E_R - E_Y$ bzw. $E_B - E_Y$), jeder derselben kann auch Null sein. Das negative Vorzeichen von E_Y entsteht durch Phasenumkehr. In einem rein schwarz-weißen Bildfeld werden die beiden Farbreste durch Verschwinden von E_R und E_B dem negativen E_Y gleich; der von E_Y gesteuerte Empfänger erhält dann durch Vermittlung bestimmter Netzwerke bei Berücksichtigung kolorimetrischer Dimensionierungsgleichungen eine so bemessene Erregung aller drei Farbkomponenten, daß sich reines Weiß in allen Helligkeitsstufen bis herunter zum Ende der Grauskala, d. h. Schwarz, ergibt („recompatibility“). Die im rechten Winkel zueinander stehenden Strecken OD und CD des Vektordreiecks OCD von Abb. 14, die den Farbresten $E_B - E_Y$ bzw. $E_R - E_Y$ gleich sind, stellen die zu übertragenden Größen S. cos ωt und S. sin ωt dar, wenn ω die Frequenz des Hilfsträgers, S die Sättigung und $\varphi = \text{arc tg} (E_R - E_Y)$ den Farbton zwischen Rot und Blau bedeutet. Der Hilfsträger ist, wie man sagt, „quadratisch“ moduliert. OC ist das Chrominanzsignal.

Für die Bildwiedergabe dient heute in den USA überwiegend das von der RCA entwickelte „Trichrome-Kinescope“, Abb. 15. Drei gegeneinander leicht geneigte, getrennt steuerbare und dem gleichen Ablenksystem folgende

Elektronenstrahlen durchsetzen die feinen Löcher einer Maske, hinter der sie regelmäßig angeordnete Tripel von Phosphortupfen R, G, B erregen. Infolge der Verschiedenheit der Strahlrichtung ist gewährleistet, daß jeder Strahl stets nur die ihm zugeordnete Leuchtfarbe, niemals eine andere, hervorbringen kann. Die Leuchtphosphore sind so nach Farbe und spezifischer Helligkeit aufeinander abgestimmt, daß sie weißes Licht liefern, wenn die Signale der Farbkamera von einer weißen Bildstelle herrühren; die Mischung aus den drei Komponenten erfolgt im Auge. D. h. die einzelnen Tupfen des Leuchtphosphors sind so klein, daß sie aus normaler Betrachtungsentfernung

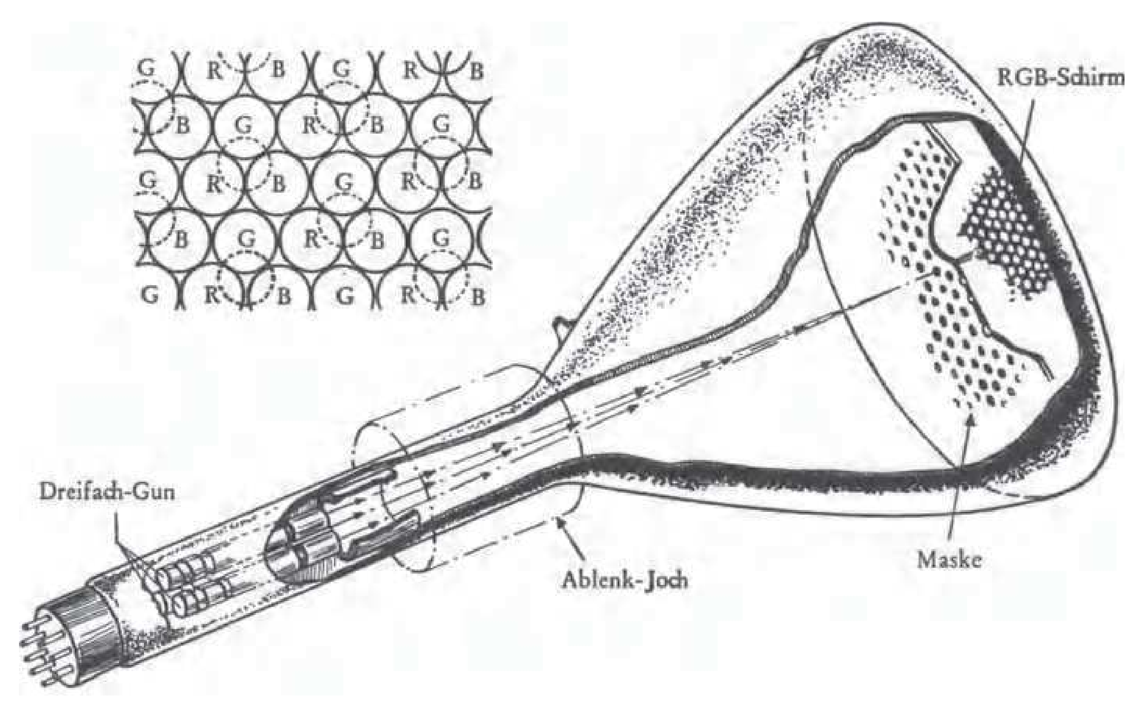


Abb. 15

unter der Sehschärfegrenze liegen; es sind deren insgesamt 1 071 000 vorhanden, entsprechend 357 000 Löchern in der Maske. Die getrennten Strahlerzeuger werden durch die E_Y-, E_R- und E_B-Werte gesteuert, von denen die beiden letzteren im Empfänger durch Zusatz von $+E_Y$ zu den in Abb. 14 angegebenen Farbdifferenzsignalen gewonnen werden. Für diese Operationen ist ein lokaler Generator der Hilfsträgerfrequenz im Empfänger vorgesehen, der von in besonderer Weise mitübertragenen Impulsen mit dem senderseitigen synchronisiert wird.

Neben dieser Dreifarbenröhre bestehen andere Formen, von denen besonders die mit parallelen Leuchtphosphorstreifen arbeitende Röhre nach

Lawrence in Betracht kommt. Ein vor dem Rot-Grün-Blau-Streifenraster stehendes Ablenkgitter bewirkt in Abhängigkeit vom Wechsel des Farbsignals die Ausrichtung des gesteuerten Elektronenstrahls auf einen der drei Streifen. Verbesserte Ausführungen dieser Röhre haben drei getrennte Strahlen, so daß die Umlenkung des einen Strahls der älteren Type entfällt; man nähert sich damit dem Funktionsprinzip der RCA- Dreifarbenröhre und kann zu deren Punktfolgeverfahren übergehen, was bei der Einstrahlröhre mit Umlenkgitter aus Kapazitätsgründen in Anbetracht der notwendigen hohen Umlenkfrequenzen ausgeschlossen wäre.

Im ganzen gewertet, stellt das NTSC-Verfahren eine einfallsreiche und geschickte Konzeption dar, deren nunmehr erfolgte Einführung in die Praxis die Lebensfähigkeit des Systems unter günstigen Übertragungsverhältnissen erwiesen hat. Trotzdem ist dieses theoretisch nicht einwandfrei. Es läßt sich zeigen, daß die Verschachtelung des Luminanz- und des Chrominanzspektrums nicht sauber bestehen bleibt, wenn im Bilde gewisse Schrägstrukturen auftreten, die infolge ihrer Periodizität ein neues kräftiges Linienspektrum beider Träger hervorrufen, und zwar derart, daß die hohen Harmonischen dieser Modulation mit ihren den Nebenlinien entsprechenden „Seitenbändern“ teilweise zur Deckung kommen. Diese Interferenz führt dazu, daß der Schwarz-Weiß-Empfänger vom Chrominanzsignal gestört wird, sobald Nichtlinearitäten zur Wirkung gelangen. Eine solche Nichtlinearität ist z. B. der Gleichrichtereffekt auf dem Leuchtschirm. Es gibt kein negatives Licht. Trotz schwacher mittlerer Helligkeit des übertragenen Bildes kann die momentane Amplitude A_t des Hilfsträgers groß sein. Sie liefert das eine mal im Schwarz-Weiß-Empfänger, durch positive Addition, eine starke Aufhellung, das folgende mal, durch negative Addition, eine durch den Grenzwert Schwarz beschränkte Verdunklung, sobald nämlich die mittlere Helligkeit H_m die Hilfsträgeramplitude A_t unterschreitet. Zuwachs und Abnahme von H_m sind dann in aufeinanderfolgenden Bildern nicht mehr gleich, und die Differenzwirkung wird im unfarbigen Bilde störend sichtbar.

Zwecks Ausschaltung der Nichtlinearitätseffekte ist das NTSC-System verschiedenen Abänderungen unterzogen worden. Erwähnt sei nur das im praktischen Einsatz noch nicht überzeugende, aber gut durchdachte und daher nicht aussichtslose Verfahren der zwei Hilfsträger *(Teer* und *Valeton)*, deren einer unabhängig die rote Komponente und deren zweiter die blaue überträgt. Es würde hier zu weit führen, diese Methode zu beschreiben. Hingegen wollen wir uns mit einer ganz anderen Entwicklungsrichtung, der *Farbcodierung*, noch kurz befassen. Es handelt sich dabei um ein System,

welches nicht von Nichtlinearitäten und Phasenbedingungen abhängt, wie sie beim NTSC-Verfahren als Störmöglichkeiten vorkommen.

Ich habe die im folgenden behandelte Codierung von Farbtönungen in einem Vortrag an der Züricher E. T. H. 1951 bekanntgegeben (Abdruck im Bulletin SEV, 43. Jahrg. Nr. 12, 1952). Unabhängig davon hat später Herr *Valensi* in Frankreich ein ähnliches System beschrieben und entwickelt. Es sei hier nur das gemeinsame Prinzip beider Vorschläge erörtert.

Von den drei am Ausgang der Farbaufnahmekamera verfügbaren Farbauszügen wird der grüne nach Addition der hohen Frequenzen, die im Rot- und im Blaukanal auftreten, als Luminanzsignal übertragen. Er steuert in kompatibler Weise die Schwarz-Weiß-Empfänger. Das Rot- und das Blausignal des tieferen, aber für die Sehschärfe in diesen Bereichen genügenden Frequenzintervalls werden *quantisiert und codiert*. Dazu kann eine Vorrichtung nach Abb. 16 dienen, worin a sich auf das Senden (Codieren), b auf das

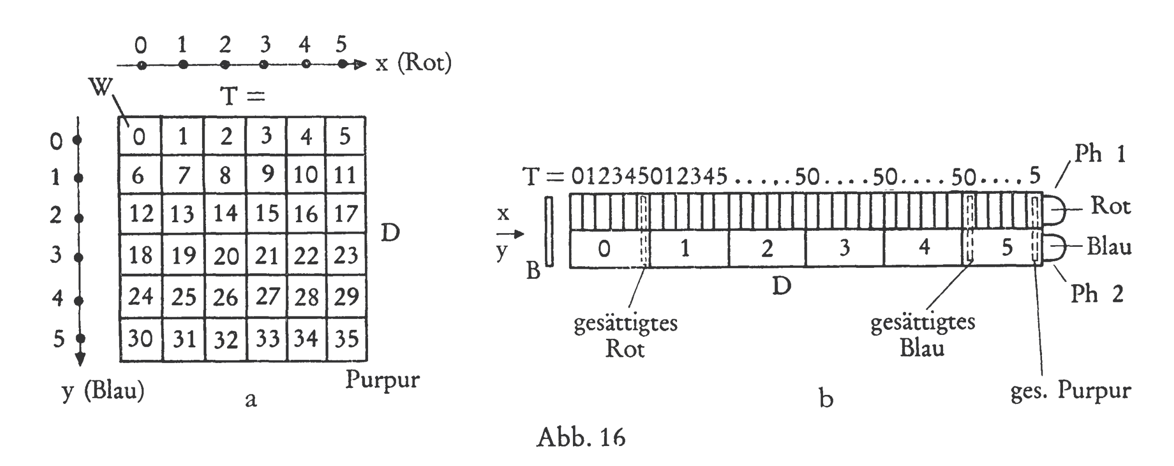


Abb. 16

Empfangen (Entcodieren) bezieht. Diese Vorrichtungen a und b sind Diaphragmen D mit abgestufter optischer Durchlässigkeit T, die vor dem Leuchtschirm einer Kathodenstrahlröhre stehen. Der bewegte Lichtfleck scheint durch eines der Quantisierungsfelder hindurch und beleuchtet mit gesetzmäßig veränderlicher Restintensität im Falle a eine allen Feldern gemeinsame Photozelle; im Falle b hat der Elektronenstrahl, und mit ihm der Lichtfleck, Bandform B, wodurch zwei parallele, getrennte Photozellen länglicher Bauart, Ph 1, Ph 2, in Abhängigkeit von T beleuchtet werden. Läßt man im Teil a den Elektronenstrahl vom Rotsignal ablenken (Richtung X), so durchläuft das photoelektrische Signal die Stufen 0 bis 5 zwischen Weiß (W) und gesättigtem Rot. Das Blausignal lenkt gleichzeitig in y-Richtung ab, mit gleicher Stufenzahl. Diese ist hier willkürlich gewählt; sie kann

größer und der Übergang von Stufe zu Stufe dadurch sanfter sein. Im Diaphragma D (Abb. 16a) sind die von x und y abhängigen Transparenzen eingetragen; es wird angenommen, daß die erzeugten lichtelektrischen Amplituden diesen Werten direkt proportional sind. Sie werden durch die Gleichung

$$A = K \cdot y + x$$

mit K hier = 6 wiedergegeben. Es wird demgemäß auf dem Hilfsträger, der wie beim NTSC-System gewählt wird, jeweils nur eine Amplitude A übertragen, die von allen Phasenbedingungen unabhängig zur gleichen Zeit den Rot- und den Blaugehalt übermittelt. Am Empfänger muß nun zum Zwecke der Steuerung der Rot- *und* der Blauintensität — beispielsweise in einer Dreifarbröhre nach dem Muster des RCA-Trichrome-Kineskops — aus der einen Amplitude A sowohl der y- als auch der x-Wert zurückgewonnen werden.

Diese Entcodierung zeigt Abb. 16b. Der Bandstrahl B konstanter Stromstärke bewegt sich unter dem ablenkbaren Einfluß von A längs des Transparenzdiaphragmas D. Die Abstufung von T in der oberen und der unteren Reihe geht aus der Figur deutlich hervor. Der Vergleich mit Bild 16a läßt sofort erkennen, daß alsdann in Ph 1 der x-Wert, in Ph 2 der y-Wert direkt entsteht. Es sind punktiert 3 Strahllagen gezeichnet, die dem gesättigten Rot, bzw. Blau, bzw. Purpur entsprechen. Multipliziert man für diese Stellungen die in der unteren (y-) Reihe maßgebenden Ziffern mit K = 6 und fügt man zu dem Produkt den der oberen Reihe entnommenen x-Wert hinzu, so erhält man die im T-Diaphragma von Abb. 16a eingetragenen Zahlen und die zu ihnen gehörigen Farbtöne. Z. B. gilt für gesättigtes Blau: $A = 6 \times 5 + 0 = 30$, für gesättigten Purpur: $A = 6 \times 5 + 5 = 35$.

Der Erfolg dieses Verfahrens hängt von der richtigen Auswahl der quantisierten Farbgemische im Farbdreieck ab. Deren Stufenzahl muß groß genug sein, um eine Quasi-Kontinuität der Farbtonvariation zu gewährleisten. Über die praktische Leistungsfähigkeit des Systems zu urteilen, erscheint verfrüht; man muß das Ergebnis längerer Versuche abwarten.

Kehren wir noch kurz zu den bekannteren Methoden zurück! Ein noch ungelöstes Problem ist beim NTSC-System die Aufnahmekamera. Da die drei Farbauszüge *gleichzeitig* übertragen werden müssen („Simultan"-Verfahren), sind grundsätzlich drei getrennte Bildgeberröhren erforderlich, denen über optische Filter die verschiedenen Spektralanteile zugeführt werden. Es ist sehr schwierig, diese drei Röhren einwandfrei einzustellen und abzugleichen. Man erprobt daher zur Zeit den sogenannten „Chromacoder". Mit Hilfe eines rotierenden Kranzes von Filtergläsern der drei Durchlaß-

bereiche werden *nacheinander* die drei Farbauszüge innerhalb der normalen Dauer des Einzelbildes auf eine und dieselbe Bildgeberröhre zur Einwirkung gebracht. Man speichert diese Signale, indem man jeden einzelnen Farbauszug auf dem Leuchtschirm einer *Braun*'schen Röhre als (unfarbiges) Bild wiedergibt und diese Helligkeitsverteilungen auf die Abtastflächen von Bildgeberröhren mit genügender Speicherdauer projiziert. Als solche haben sich vor allem solche vom Typ des *Vidicons* bewährt, das ja in wachsendem Maße für Reportage und für Filmabtastung benutzt wird [7]. Die Anordnung gestattet die gleichzeitige Abnahme aller drei Farbauszüge, die dann in der normalen Weise weiterübertragen werden.

Bei diesem Verfahren arbeitet die Sendeseite nach dem Prinzip der bildfrequenten Farbfolge („Sequential"-Methode), die Empfangsseite nach dem Simultan-Prinzip. Dies führt uns zu dem CBS-System (CBS = Columbia Broadcasting System). Hierbei werden *beiderseits* rotierende Farbfilter benutzt, die das Urbild in seine drei Komponenten zerlegen bzw. aus weißem Licht — vom Leuchtschirm einer *Braun*'schen Bildschreibröhre — den jeweils übertragenen Farbauszug ausfiltern. Deshalb müssen die Filter streng synchron und in Phase umlaufen. Es hat sich jedoch gezeigt, daß zur Verhütung von Flimmern beim Mischen der Komponenten im Auge und von störenden Farbsäumen oder Farbausfällen bei raschen Bewegungen die Zahl der Farbraster auf 144/sek. erhöht werden mußte (144 Raster/sek. bei Zeilensprung, 72 volle Bildfelder/sek., je 48 rote, grüne und blaue Bilder/sek.). Das System ist jedoch nicht kompatibel und konnte sich daher im Rundfunk-Fernsehen der USA trotz Lizenzierung durch die Federal Communication Commission nicht halten, zumal im Hinblick auf die Begrenzung des Frequenzbandes die Zeilenzahl, also die Auflösung, wesentlich reduziert werden mußte.

Bessere Aussichten scheint das Verfahren der rasterfreqenten Farbfolge bei Übertragungen zu haben, die schnelle Bewegungen ausschließen. Das ist z. B. der Fall bei gewissen industriellen Anwendungen der Fernsehtechnik, bei Anlagen zur Fernsichtbarmachung chirurgischer Operationen in Hörsälen, bei in sich abgeschlossenen Systemen, die für die Wiedergabe der natürlichen Farbe ruhender Objekte bestimmt sind.

[7] Das Vidicon beruht auf dem inneren lichtelektrischen Effekt an Halbleiterschichten (Selen, Antimontrisulfid). Ein Strahl langsamer Elektronen tastet das Potentialrelief ab, das sich infolge der örtlich veränderlichen Photoleitfähigkeit unter dem Einfluß des Bildes entwickelt.

Beim *Fernsehsprechen*, der mit dem Ausbau der Mikrowellen-Netze sicher kommenden „Visiotelephonie“, liegen die Bedingungen für die Farbwiedergabe günstig. Die Gesprächspartner wollen einander in lebensähnlicher Verfassung sehen; dazu gehört die *Farbe*, schon weil sie den plastischen Eindruck steigert. Da im wesentlichen nur der Gesichtsausschnitt interessiert, kann die Bildauflösung sich auf 150 bis 200 Zeilen beschränken. Die Frequenzbandbreite wird entsprechend kleiner. Die genannte Zeilenzahl läßt in der Anwendung von Farbzeilen- oder -Punktrastern größere technische Freiheit. Zu schnelle Bewegungen, die störende Farbsäume oder Farbzerfall verursachen könnten, kommen kaum jemals vor. Die Forderung der Compatibility entfällt. Es mag sein, daß der Farbumfang eines Zweikomponentensystems ausreicht. Die Kosten des Gerätes werden als Gesprächs- oder Leihgebühren über längere Zeiten amortisiert. Alles dies läßt die technische und wirtschaftliche Möglichkeit einer künftigen farbigen Visiotelephonie bejahen. Auch für den Fernseher als Überwachungsgerät industrieller Fertigung oder als Unterrichtsmittel ist die Naturfarbe oft vital. Freilich liegen hierbei die Ansprüche hinsichtlich Auflösung meist sehr hoch, sogar im Vergleich zum Rundfunkbild. Das führt zu einer ganz anderen Technik, bei der ebenfalls keine Compatibility gefordert wird. Als Kompensation für die stark erhöhte Bildpunktzahl entfällt beim elektrischen Leitungskanal zumeist das Entfernungsproblem.

Wann und nach welchem System die Farbübertragung im Rundfunk-Fernsehen der europäischen Länder verwirklicht werden kann, steht heute noch dahin. Zweckmäßig erscheint es, zuvor eine einheitliche Normung der Zerlegungsdaten — Zeilenzahl, Bildwechselzahl, Modulationsmethode, Synchronisierschema, Lage des etwaigen Hilfsträgers usw. — durchzuführen, um den internationalen Programmaustausch zu erleichtern und die Empfangsgeräte nach einheitlichem Schema entwickeln und herstellen zu können. Nach Lage der Dinge werden diese und andere notwendige Vorbereitungen noch eine Reihe von Jahren erfordern.

Diskussion

Staatssekretär Professor Dr. h. c. Leo Brandt

Einer der Pioniere des Fernsehens in der Welt hat uns soeben einen Überblick über die Probleme und Entwicklungsmöglichkeiten dieser neuen Technik gegeben. Es läßt sich bereits erkennen, daß das Fernsehen seine Anwendung in den verschiedensten Gebieten von Wissenschaft und Technik, wie in der Medizin, bei der Nachrichtenübermittlung, für Navigationsverfahren usw. finden wird. Wir sind Herrn Professor Schröter, der an der Lösung der grundlegenden Probleme des Fernsehens maßgebend beteiligt ist, für seine interessanten Ausführungen sehr dankbar.

Oberregierungsbaurat Dr. phil. Hans Schellhoss

Ich habe eine Frage, die wahrscheinlich in der Kürze der Zeit nicht ausführlich behandelt werden konnte; sie bezieht sich auf die „Bandverdünnung". Dazu ist die Reduzierung der Bildpunktzahl erforderlich. Diese entsteht dadurch, daß nur die Punkte übertragen werden, die sich geändert haben. Diese Änderung müßte auch an der richtigen Stelle erfolgen. Es müssen also zwei Forderungen erfüllt werden: 1. die Änderung der Punkte und 2. die genaue Lokalisierung. Diese Genauigkeit, die mit 625×625 Punkten ein Bild bestimmt, drückt sich aus in der Bandbreite, die man beim normalen klassischen Fernsehen braucht. Ich habe noch nicht verstanden, wie man trotz Bandverdünnung die Lokalisierung der sich ändernden Punkte und die dabei notwendige Genauigkeit erreicht.

Professor Dr. phil. Fritz Schröter

Man überträgt bei einem solchen Differenzverfahren jeden Zeilen- und Bildwechsel genau so wie bisher durch einen Impuls, allerdings diesen bei kleinerer Bandbreite. Insofern scheint die Gefahr zu bestehen, daß man

eine gewisse Unsicherheit hineinbringt. Genau dieselbe Unsicherheit wird dann aber für jeden Bildpunkt gelten, den man senderseits abtasten muß und der dann auch an eine falsche Stelle käme. Ihr Bedenken ist also im Prinzip richtig. Wenn man die Sache aber genau überlegt, sieht man, daß sich der Fehler heraushebt. Das ganze Punktraster erscheint einfach um die Breite einiger Bildpunkte verschoben. Weiter passiert nichts. Der Fehler kompensiert sich vollkommen heraus; man kann das leicht zeigen.

Professor Dr. phil. Burckhardt Helferich

Gestatten Sie, eine völlig laienhafte Frage zu stellen: Dieses Hin und Her der 650 Zeilen kommt mir als etwas vor, was unangenehm ist. Hat man daran gedacht, eine größer werdende Spirale zu machen?

Professor Dr. phil. Fritz Schröter

Das haben wir bei Telefunken durchgestanden. Die Spiralabtastung ist beschrieben worden. Die Spirale beginnt in der Mitte, läuft zur Peripherie, dann zur Mitte zurück und beginnt von neuem. Der physiologische Eindruck ist unangenehm. In der Mitte erhält man eine größere Konzentration und Leuchtdichte. Versucht man hier das Raster weiter zu machen, bekommt man große Schwierigkeiten im Steuersystem. Wir müssen die Spiralbewegung dadurch erzwingen, daß wir gewissermaßen eine Kreisbewegung im Radius sehr exakt langsam ändern. (Zuruf: Wie beim Grammophon). Ja, aber diesen Gefallen tun uns die Elektronen so leicht nicht. Wir mußten außerdem einen passend periodisch veränderlichen Widerstand in die Helligkeitssteuerung einschalten. Trotz vieler Versuche ist das sehr komplizierte Verfahren gescheitert. Ferner brauchten wir eine Umlauffrequenz, die mindestens 50 je Sekunde ist. Wir haben damals nicht mit der Braunschen Röhre, sondern mit einem kleinen Spiegel gearbeitet. Der Spiegel machte eine Rotationsbewegung, und wir haben die Neigung sukzessive ein wenig gegen die Achse geändert. Damit bekamen wir eine leuchtende Spirale. Aber der physiologische Eindruck war niederschmetternd. Es geht so nicht.

Professor Dr. rer. nat. Wilhelm Groth

Sind Versuche gemacht worden, das Ausleuchten eines Fernsehbildes nicht nur durch einen, sondern durch eine größere Anzahl von Kathodenstrahlen vorzunehmen?

Professor Dr. phil. Fritz Schröter

Das könnte man im Prinzip machen. Es sind auch Überlegungen in dieser Hinsicht angestellt worden. Doch ist der Röhrenbau dadurch sehr kompliziert und verteuert. Bei Oszillographenröhren gibt es aber solche mit mehreren Strahlen. Wir beherrschen die Steuerung der Lage eines Kathodenstrahls und die Linearität der Ablenkung heute so weit, daß daraus ein vollendetes Meßinstrument geworden ist. Es ist jetzt wirklich so, daß wir mit einem gegebenen Feld den Lichtfleck dahin legen können, wo er liegen muß. Im Prinzip läßt sich also auch eine Bildempfangsröhre mit mehreren Strahlen denken.

Professor Dr.-Ing. habil. Bodo von Borries

Als ich vor Jahresfrist in Princeton bei der Radio Corporation of America Herrn Dr. Zworykin, der ja neben unserem heutigen Vortragenden der andere Pionier des Fernsehens ist, besuchte, sagte er: das, was ihn eigentlich interessiere und ihn noch nach seinem Übertritt in den Ruhestand im Laboratorium festhalte, wäre nicht das Broadcasting-Fernsehen, sondern die vielfachen anderen Anwendungen. Heute ist schon ein Beispiel hier erwähnt, die Übertragung einer Operation. Zworykin sprach neben anderem auch von der Tiefseeforschung und will sein Interesse und seine Arbeit ganz auf diese wissenschaftliche Anwendung des Fernsehens konzentrieren.

Es würde mich interessieren, zu erfahren, wie Sie, Herr Schröter, diese „andere“ Anwendung des Fernsehens beurteilen.

Professor Dr. phil. Fritz Schröter

Ich möchte das industrielle Fernsehen in erster Linie erwähnen. In der Industrie, besonders in der amerikanischen Großindustrie, gibt es sehr viele Bandfabrikationsgänge, die an irgendeiner Stelle besonders kritisch sind und die man genau überwachen muß, d. h. also die Einzeloperationen von Arbeitern, die am Bande sitzen. Das macht man in Amerika so, daß man kleine Kameras aufstellt, die den Arbeitsvorgang im Bilde festhalten und dieses an einen zentralen Empfänger, der in einem Ingenieurbüro steht, übertragen. Dort wird die Betrachtung des Fabrikationsganges von einer Station des Bandes zu solchen anderen geschaltet, wo sich vermutlich eine

Rückwirkung des Fehlers zeigen könnte. Ferner haben wir als Anwendungen die Überwachung von Feuerungen, von Wasserständen in Wasserwerken usw. Es gibt sehr viele Einzeloperationen an der Drehbank und an den Stanzen usw., die auch allmählich vom Fernsehen erfaßt werden. Dann haben wir als ausgesprochen industrielle Nutzanwendung das Fernsehen als Begleitung der Telefonie. Das ist eine schon vor vielen Jahren aufgetauchte Idee. Da kann die heutige Fernseh-Kleinkamera ohne Zweifel Fortschritte bringen, weil sie ermöglicht, kleine, relativ billige Einrichtungen neben das Telefon zu stellen.

Sodann folgt das Tiefsee-Fernsehen, obwohl man da zur Registrierung noch den Film vorzieht, weil man damit vorläufig bessere Bilder bekommt.

Medizinisch kann man außer bei einer Operation das Fernsehen mit Vorteil anwenden in der Mikroskopie. Das läßt sich heute sogar schon farbig machen. Man kann die Objekte direkt vom Mikroskop aus übertragen. Das Testobjekt wird abgetastet und zusammengesetzt, indem man es dabei noch farbmäßig aufteilt. Dann bekommt man eine vergrößerte farbige Übertragung des kleinen Mikroskopbildes. Sie können die einzelnen Bakterien sehen, das ist wunderschön. Es gibt da noch unzählige andere Anwendungsgebiete.

Es ist richtig, daß Dr. Zworykin, nachdem er das Rundfunk-Fernsehen soweit gebracht hat, daß es ihn nicht mehr interessiert, sich anderen Nutzanwendungen zuwendet.

Professor Dr. phil. Friedrich Becker

An dem Dezimeterbereich, besonders den Frequenzen um 1420 MHz, ist die Radioastronomie stark interessiert, weil in diesem Bereich die sehr aufschlußreiche Strahlung des interstellaren Wasserstoffs liegt. Wir befürchten, daß der Empfang dieser Strahlung stark behindert wird, wenn einmal das Fernsehen in größerem Umfang in das Dezimetergebiet vordringt.

Professor Dr. phil. Fritz Schröter

Bis herab zu der 1420 MHz entsprechenden Welle gehen wir nicht. Wir denken beim Fernsehen an längere Dezimeterwellen. Das stört Sie noch nicht. Wir werden auf alle Fälle die Wellenlängen so legen, daß auch deren Oberwellen für Sie nicht bedenklich werden.

Professor Dr.-Ing. Rudolf Jaeckel

Sie haben besonders die Bildspeicherung erwähnt und dazu für Gemeinschaftsempfang die Übertragung nach dem Zeilenverfahren. Ein wesentlicher Vorteil des Bildspeichers wäre ja aber gerade die kontinuierliche Versorgung.

Professor Dr. phil. Fritz Schröter

Das ist eine Kompromißlösung. Solange man die Speicherröhren baulich nicht so beherrscht, daß man sie ohne großen Ausfall fabrizieren kann, kann man an eine Anwendung der Speicherröhren im Heimempfänger noch nicht denken. Wohl kann man in einem Zwischenorgan speichern und von diesem aus eine große Zahl von Teilnehmern gemeinsam versorgen. Man muß sich in diesem Teile vorläufig mit der klassischen Methode abfinden. Aber man kann so im Äther den Frequenzraum besser ausnutzen. Die Umsetzung in das breite klassische Band erfolgt dann wieder für den Zweck der Benutzung normaler Empfänger.

Professor Dr. phil. Ernst F. Peschl

Ich wollte fragen, ob diese Methode auch Möglichkeiten eröffnet, das Problem des Nebels als Verkehrshindernis zu lösen.

Professor Dr. phil. Fritz Schröter

Nein, da sehe ich keine Möglichkeit. Auf Ultrakurzwellen können wir das Bild der Landungssituation übertragen. Dabei überwinden wir den Nebel mit einer Mikrowelle. Im optischen Bereich geht es nicht. Wir haben vor langer Zeit die Lichtabsorption im Nebel untersucht, bis hinein in den infraroten Bereich mit besonders entwickeltem Infrarotfilter. Damit haben wir die Intensität gemessen. Eine Reichweite von 28 km ging bei Nebel auf 20 m herab. Das ist eine ziemlich hoffnungslose Situation. Da kommt man nur mit Zentimeterwellen durch.